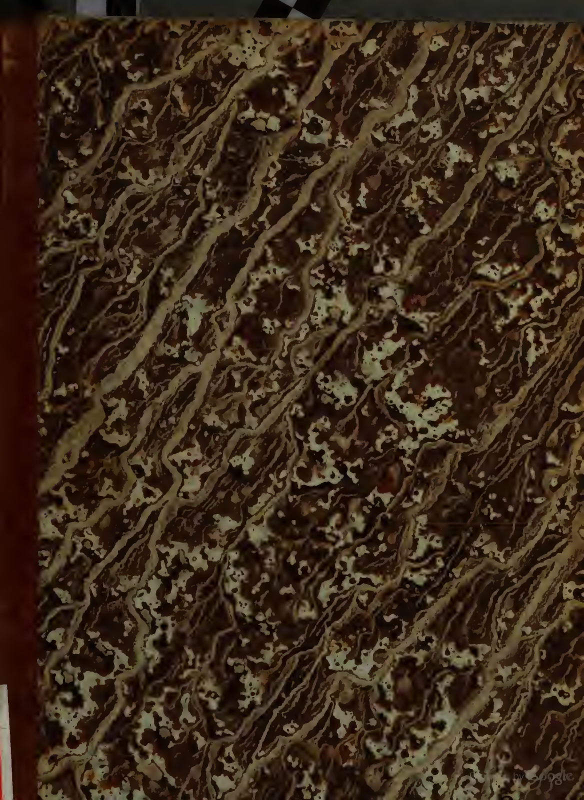


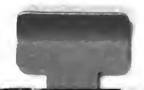


NDO PROVINCIA





BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio
Palchetto
Num.° d'ordine



RECUEIL

D'EXPÉRIENCES ET D'OBSERVATIONS

FAITES

Sur différens Travaux exécutés pour la construction du pont de Nemours, pour celle de l'arsenal et du port militaire d'Anvers, et pour la reconstruction du port de Flessingue;

DANS LEQUEL ON A TRAITÉ LA THÉORIE DE L'ÉQUILIBRE DES VOUTES.

DE L'IMPRIMERIE DE FEUGUERAY,
rue du Cloître Saint-Benoît, n° 4.

RECUEIL

D'EXPÉRIENCES ET D'OBSERVATIONS

FAITES

SUR différens Travaux exécutés pour la construction du pont de Nemours, pour celle de l'arsenal et du port militaire d'Anvers, et pour la reconstruction du port de Flessingue;

DANS LEQUEL ON A TRAITÉ LA THÉORIE DE L'ÉQUILIBRE DES VOUTES;

PAR L.-C. BOISTARD,

Ingénieur en chef Directeur, au Corps royal des ponts-et-chaussées.

.... Si quid novisti rectius istis,
Candidus imperti; si non, his utere mecum.

HOR., *Epist.*, *lib.* 1, *Epistola sexta.*



A PARIS,

CHEZ J.-S. MERLIN, LIBRAIRE,

QUAI DES AUGUSTINS, N°. 7.

1822.



A

MONSIEUR BECQUEY,

CONSEILLER D'ÉTAT,

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS-ET-CHAUSSÉES ET DES MINES,

MEMBRE DE LA CHAMBRE DES DÉPUTÉS,

COMMANDANT DE L'ORDRE ROYAL DE LA LÉGION D'HONNEUR.

Monsieur le Directeur général,

Si ce Recueil remplit le but unique que je me suis proposé en le publiant, celui d'être utile, c'est à vous qu'on en sera redevable. Vous vîtes, l'année dernière, le pont de Nemours en terminant une de vos tournées, vous me parlâtes avec éloge de ce pont, le plus hardi de

ceux qui sont connus. J'entrai dans quelques détails de sa construction, et de quelques autres travaux hydrauliques exécutés dans les ports militaires d'Anvers et de Flessingue; vous m'engagedtes, Monsieur le Directeur général, à publier les observations et les expériences que j'avais faites en dirigeant ces grands travaux; je vous promis de m'en occuper, et d'en former un recueil; j'ai voulu remplir ma promesse.

En vous dédiant cet ouvrage, Monsieur le Directeur général, je ne m'abuse point sur son importance et son mérite; je cède à un sentiment plus fort et plus juste que l'amour-propre, celui de la reconnaissance.

Je suis avec respect,

Monsieur le Directeur général,

Votre très-humble et très-obéissant serviteur

BOISTARD.

AVERTISSEMENT.

PLUS la théorie des mathématiques est exigée de ceux qui, par état, doivent la réduire en pratique, plus il est nécessaire de faire connaître les résultats de son application déduite de l'expérience. Il faut en convenir, les meilleurs théoriciens ne sont pas ceux qui appliquent toujours le plus facilement leurs connaissances, lorsqu'il s'agit de résoudre par le calcul une question relative aux travaux d'art : on peut être fort bon géomètre sans avoir le talent d'appliquer les mathématiques; c'est un don, pour ainsi dire, inné chez ceux qui le possèdent; l'étude le donne difficilement.

Dans l'application du calcul aux travaux d'art, la première chose à déterminer pour arriver à la résolution d'une question est souvent une hypothèse, et comme elle est le principe qui fait la base du calcul, les résultats de celui-ci sont nécessairement la conséquence de l'autre. Or, si l'hypothèse est juste, les résultats sont justes; si l'hypothèse est erronée, on peut juger du danger de les adopter : mes expériences sur la stabilité des voûtes feront preuve de ce que je viens d'avancer.

La théorie peut donc conduire à faire de grandes fautes lorsqu'on se confie à elle seule; j'ajoute qu'elle pourrait être très-dangereuse, parce qu'on peut s'en servir pour soutenir et faire prévaloir une idée fausse, un système mal conçu et

composé de principes faux. Nous savons bien que ce danger n'est pas pour ceux qui sont en état de juger ou de résoudre eux-mêmes la question; mais combien d'autres, qui ne sont pas dans cette heureuse position, et qui peuvent avoir un grand intérêt à connaître la vérité, ne sont-ils pas exposés à être trompés! C'est ainsi que s'abusant soi-même, celui qui adopte de bonne foi un faux principe arrive au même point que celui qui l'adopte sachant qu'il est faux. Concluons de ce qui précède que la théorie, qui doit faire la base de l'instruction d'un ingénieur, est insuffisante sans la pratique, et que le meilleur guide qu'il puisse avoir est l'expérience. Cette opinion pourra trouver des contradicteurs, surtout parmi certains jeunes ingénieurs; mais qu'ils comparent ce qu'ils ont fait avec ce qu'ont fait leurs anciens, et qu'ils soient de bonne foi. Je suis loin d'avoir l'intention de choquer les amours-propres, et de méconnaître le vrai mérite, personne ne l'estime plus que moi chez les hommes de tout âge; mais je ne peux me tromper au point de croire que la science fait tout, et que l'expérience de longues années n'est rien; qu'il suffit d'être entré dans une carrière, à partir de telle année, pour être capable de tout faire, et que ceux qui sont entrés avant cette époque dans la même carrière sont tous, ou à-peu-près, incapables de remplir les places auxquelles l'ancienneté et l'utilité de leurs services les ont fait arriver.

Je ne crains pas de le dire, ce serait un grand mal qu'une telle opinion influât sur le choix des sujets; mais nous n'aurons point à en déplorer les conséquences; ce choix sera toujours, comme il doit l'être, la récompense du mérite et des services rendus; il entretiendra l'émulation générale; il fera

naître l'espérance chez les uns et la soutiendra chez ceux que la justice regrette de ne pouvoir appeler au but qu'elle présente à tous. Le simple bon sens ne dit-il pas assez que l'étude élémentaire ne suffit pas dans toutes les professions, dans tous les états? que l'expérience, qui ne s'acquiert que par le temps, façonne et complette l'instruction? que celle-ci doit servir de mesure à la confiance qu'il faut nécessairement accorder aux hommes chargés d'intérêts particuliers, ou des intérêts de l'état? et ceux qui aujourd'hui voudraient si injustement écarter, ou pour le moins devancer leurs anciens, ne pensent donc pas qu'ils seront anciens à leur tour?

Nous avons dit que la théorie est insuffisante pour un ingénieur, et qu'elle a besoin d'être éclairée et guidée par l'expérience. C'est dans cette vue que nous donnons ce recueil. On se tromperait si l'on croyait que nous avons une autre pensée que celle d'être utile aux jeunes gens qui doivent entrer dans les rangs d'un corps estimé dans toute l'Europe, et dont ils sont appelés à soutenir et augmenter la réputation par leur conduite et leurs travaux. Destinés eux-mêmes à projeter à leur tour et à diriger de grands ouvrages d'art, ils suivront mon exemple : je n'ai que l'ambition de leur montrer la route. Ce qu'ils auront recueilli d'observations servira de matière à quelqu'un d'entre eux pour rédiger un cours élémentaire de constructions appuyé sur l'expérience. Cet ouvrage si nécessaire manque aux ingénieurs; son utilité sera sentie, et mon vœu sera rempli.

Ce Recueil d'observations et d'expériences est divisé en trois parties; la première comprend :

1°. La description abrégée du pont de Nemours en

trois arches, et particulièrement remarquable par sa hardiesse;

2°. L'extrait du journal des travaux exécutés dans chaque campagne pour la construction de ce pont;

3°. Les calculs des ordonnées nécessaires pour tracer les arches de 93 pieds de rayon ($30^m,21$), ceux nécessaires au tracé de l'épure, à la distribution des joints entre les voussoirs, et la fixation de leur largeur différente, eu égard au tassement; ceux relatifs au surhaussement des arches pour prévenir les effets du tassement, etc.;

4°. Des expériences sur la main-d'œuvre des différens ouvrages exécutés pour la construction de ce pont;

5°. Le nouveau moyen qui a été employé pour décintrer les trois arches en même temps;

6°. Des expériences sur le produit des machines à épuiser employées à la construction du même pont;

La seconde partie comprend:

1°. Des expériences sur la stabilité des voûtes, y compris celles en plate-bande;

2°. Des remarques sur ces expériences, et l'application du calcul;

3°. Des expériences sur la force d'adhérence des mortiers de chaux et sable, et de chaux et ciment employés à l'air et sous l'eau, et pour combien ils entrent dans leur résistance à la puissance;

4°. Des expériences sur le frottement des pierres;

5°. L'application des expériences sur la stabilité des voûtes, à celles du pont de Nemours.

La troisième partie comprend:

1°. L'extrait des précis historiques des travaux de fondation d'une forme au port de la marine militaire à Anvers;

2°. Une notice sur la reconstruction de la grande écluse du bassin du port militaire de Flessingue, détruite en 1809 par les Anglais;

3°. Différens systèmes de charpentes employées dans la construction de l'arsenal maritime d'Anvers et dans le port de Flessingue;

4°. Enfin, l'indication des mesures et précautions que doivent prendre les Ingénieurs lorsqu'ils sont chargés de projeter et de diriger des travaux d'art.

Une notice faite sur la vie de M. Duvivier, ingénieur en chef du département de la Vendée, mort le 17 novembre 1821, me force à parler de moi, malgré toute la peine que j'éprouve à traiter un sujet qui me rend encore plus sensible la perte de cet excellent ami.

Un paragraphe de cette notice est conçu ainsi qu'il suit: « Employé ensuite comme élève des Ponts-et-Chaussées, il » fut nommé Ingénieur en 1797, et dirigea, sous les ordres » de M. Boistard, la construction du pont de Nemours, si » remarquable par sa légèreté et sa parfaite exécution. Ce » fut à cette occasion qu'il fit des expériences sur l'équilibre » des voûtes, et qu'il en établit la véritable théorie. »

Il y est dit plus haut que M. Duvivier, à l'époque de la création de l'Ecole Polytechnique, fut un des élèves des Ponts-et-Chaussées choisis pour former le noyau de cette Ecole : ces faits ne sont pas exacts, et je vais les rapporter tels que l'aurait fait lui-même l'auteur de la notice, je n'en doute pas, s'il avait été bien informé.

Je fus chargé, en 1794, de faire les projets des ponts de Meaux, de Melun et de Nemours, avec ordre de commencer par le projet du pont de Nemours. J'étais fixé à Melun depuis 1787, époque de ma sortie de l'école dirigée par M. Perronet.

M. Duvivier fut envoyé en 1795 pour me remplacer dans le service ordinaire du district de Melun; c'était sa première campagne d'élève. Il me témoigna le désir d'être attaché aux travaux du pont de Nemours. J'écrivis en conséquence à M. Lamblardie, mon compatriote et mon parent, qui était alors directeur de l'Ecole des Ponts-et-Chaussées, et M. Duvivier me suivit à Nemours.

A la création de l'Ecole Polytechnique, M. Duvivier fut rappelé pour entrer en sa qualité d'élève dans cette école. Il lui répugnait beaucoup de retourner sur les bancs, et il regrettait surtout d'abandonner son instruction pratique, en cessant d'être attaché au pont de Nemours; il eut encore recours à moi. J'écrivis dans cette occasion, comme dans la précédente, à M. Lamblardie, nommé alors directeur de l'Ecole Polytechnique, et M. Duvivier fut promu au grade d'ingénieur ordinaire.

Le pont de Nemours fut fondé en 1796 et 1797. Les travaux furent suspendus pendant deux campagnes, et dans cet intervalle, M. Duvivier fut appelé à Paris pour surveiller les travaux du pont de la Cité. En quittant Nemours, M. Duvivier copia de mon portefeuille ce qui lui convint; les travaux du pont étaient les premiers qu'il eût suivis.

La Notice que nous venons de citer annonçant expressément que M. Duvivier a dirigé les travaux du pont de Nemours sous

mes ordres, on peut en inférer naturellement que j'étais alors ingénieur en chef, tandis que j'étais ingénieur ordinaire, sous les ordres de l'ingénieur en chef du département, et résidant à Nemours, chargé uniquement de diriger les travaux du pont dont j'avais fait les projets (1).

Quant aux expériences sur la stabilité des voûtes, voici ce qui m'a porté et décidé à les faire.

Feu M. l'inspecteur général Gauthey en avait fait sur des voûtes de très-petites dimensions, dont les culées et les voussoirs étaient en bois. Il me disait que mon projet était trop hardi, et que les voûtes tomberaient après le décintrement; il me pressait d'augmenter leur flèche. Je répondais que, si je prenais ce parti, la rampe du pont du côté de la ville, dont la pente était déjà forte, deviendrait impraticable, et que j'avais le moyen de rendre la partie des culées inférieure aux joints des naissances solidaire de la partie supérieure opposée directement à la poussée des voûtes. M. Gauthey insistait. Un avertissement de cette nature, donné à un jeune homme par un chef aussi distingué par son grade supérieur que par les grands travaux d'art qu'il avait projetés et dirigés, finit par me donner une certaine inquiétude, et je résolus de faire des expériences en grand sur la poussée des voûtes.

Il est tout naturel de penser que M. Duvivier, qui était attaché aux travaux du pont de Nemours, m'aida dans ces expériences, qui forment l'objet du Mémoire que j'ai déposé

(1) J'ai été promu au grade d'ingénieur en chef au mois de mars 1804, époque où je fus chargé de faire le projet du canal latéral à la Loire, entre Digoin et Briare, dont l'exécution vient d'être ordonnée par sa Majesté.



manuscrit à l'Ecole des Ponts-et-Chaussées, il y a environ vingt ans, et qui est imprimé dans la *Collection des Mémoires* de cette Ecole, publiée par feu M. Lesage, en 1810.

Je prie seulement de lire avec attention le préambule du Mémoire.

Ce n'est pas moi qu'on doit soupçonner de vouloir enlever à M. Duvivier un titre à la réputation qu'il a si bien méritée, comme un des ingénieurs les plus distingués de son corps. J'étais son ami, il était le mien depuis vingt-huit ans, lorsque nous avons eu à pleurer sa perte. Personne ne l'a mieux connu que moi, et n'a mieux su apprécier son noble caractère, l'élévation et la pureté de ses sentimens, la bonté de son cœur, et surtout son attachement inviolable à ses amis.

RECUEIL

D'Expériences et d'Observations faites sur différens Travaux exécutés pour la construction du pont de Nemours, pour celle de l'arsenal et du port militaire d'Anvers, et la reconstruction du port de Flessingue.

PREMIÈRE PARTIE.

Notice sur la Construction du nouveau pont de Nemours.

L'ancien pont de pierre exécuté sur la rivière de Loing à Nemours avait été emporté par la crue de 1770, qui fut presque générale en France. La communication de Paris à Lyon ne pouvait être interrompue long-temps sans porter un grand préjudice aux relations naturellement établies entre ces deux grandes villes; on se hâta donc de construire un pont provisoire en charpente dont les bois furent tirés de la forêt de Fontainebleau. Le Gouvernement avait alors l'intention de faire construire le plus tôt possible un nouveau pont en pierre, et c'est dans cette vue que le pont de bois fut exécuté avec la solidité suffisante pour maintenir la communication, en attendant qu'il pût être remplacé par une construction durable. Néanmoins le Gouvernement fut obligé d'ajourner ses projets, et le pont provisoire fut conservé en l'entretenant le mieux possible : la simplicité du système de charpente employé, plus encore l'inconvénient d'avoir mis en œuvre les arbres aussitôt après avoir été abattus dans la forêt, ne pouvaient faire espérer qu'il durât bien long-temps : cependant il existait encore en l'an 1794, mais en si mauvais état, qu'il était impossible de ne pas le remplacer

promptement. Ce fut le 30 juin même année que je fus chargé de faire les projets des nouveaux ponts à construire à Nemours, à Melun et à Meaux, avec ordre de commencer par celui de Nemours.

M. Perronet avait fait, pour Nemours, un projet dans le système du pont de Sainte-Maixence; les arches, au nombre de trois, étaient une portion d'arc de cercle et avaient $15^{m},91^{c}$ (49^{pds}) d'ouverture; les piles étaient évidées dans le milieu de leur longueur, et avaient $1^{m},62^{c}$ (5^{pds}) d'épaisseur entre les retraites et leur couronnement; les culées étaient accompagnées de murs de rampes; il y avait un escalier projeté dans le massif des culées pour descendre à la rivière. Ce projet n'avait point été adopté par le Conseil-général des Ponts-et-Chaussées : on pourrait penser que M. Perronet lui-même n'en avait pas été satisfait; car il ne figure point dans la collection des ouvrages de ce célèbre ingénienr.

Le projet qui a été approuvé comprend également trois arches; mais elles ont chacune $0^{m},32^{c}$ (1^{pd}) de plus que celles de M. Perronet, afin d'augmenter le débouché des eaux sous le pont, qui, par sa position, peut avoir beaucoup d'influence sur les grandes crues de la rivière, toujours redoutables pour la ville de Nemours, située sur une île entre le Loing et le canal du même nom.

Les trois arches sont décrites en portion d'arc de cercle; l'onverture de chacune est de $16^{m},23^{c}$ (50^{pds}), et la flèche ou montée est de $1^{m},19^{c}$ (3^{pds} 5^{pces}); l'épaisseur à la clef est de $0^{m},97^{c}$ (3^{pds}).

Les piles, suivant mon projet, devaient avoir $1^{m},94^{c}$ (6^{pds}). Le Conseil-général des Ponts-et-Chaussées a été d'avis de leur donner $2^{m},27^{c}$ (7^{pds}) : elles ont été exécutées suivant cette dimension.

Les culées, sur la face desquelles est profilée une demi-pile, ont $5^{m},50^{c}$ (15^{pds} 6^{pces}) d'épaisseur; elles sont contre-buttées par des contreforts de $5^{m},18^{c}$ (16^{pds}) de longueur, et de $1^{m},94^{c}$ (6^{pds}) de largeur; elles sont accompagnées de mnrs d'épaulement de $3^{m},89^{c}$ (12^{pds}) de longueur sur autant d'épaisseur.

A l'extrémité de chaque mur d'épaulement, il y a, pour descendre à la rivière, un escalier en pierre, dont les marches ont $1^{m},62^{c}$ (5^{pds}) de largeur.

La largeur du pont, d'une tête à l'autre, est de $12^{m},66^{c}$ (39^{pds}); cette largeur est occupée par les parapets, qui ont $0^{m},48^{c}$ (18^{pces}) d'épaisseur

et 0m,81c (2pds 6pces) de hauteur, par les trottoirs qui ont chacun 1m,45c (4pds) de largeur, et par la chaussée qui a 8m,76c (27pds) de largeur.

Le nouveau pont est construit vis-à-vis la rue dite de la Poterne, par laquelle les eaux pluviales et ménagères du nord de la ville avaient leur écoulement à la rivière, dont le lit est très-peu encaissé.

A chaque extrémité, le pont est précédé d'une place de forme carrée, de 23m,59c (12t 8pces) de longueur sur 38m (12t) de largeur.

Le projet comprenait une troisième place circulaire de 35m,08 (18t) de diamètre à l'intersection des routes de Lyon et de celle projetée de Nemours à Montereau : cette place n'a point été exécutée.

Les remblais, à chaque extrémité du pont, ont été de 6m,28c (19pds 4pces 11l) du côté de la ville, et de 6m,36c (19pds 8pces) du côté du faubourg des Tanneurs. Cette hauteur de terrasses a obligé de projeter et de construire des murs de soutenement autour des places qui précèdent le pont, et d'encaisser par le même moyen la rampe dn côté de la ville, qui a 116m,94c (60t) de longueur et 11m,69c (36pds) de largeur.

La chaussée de cette rampe a 6m,81c (21pds) de largeur, et les revers 2m,42c (7pds 6pces) chacun ; sa pente est de 0m, 0475 (1pce 9l) par mètre courant. Il eût été bien désirable de lui donner un plus grand développement; mais on eût été forcé d'exhausser le pavé de la rue du Cimetière, qui, comme toutes les rues du nord de la ville, portait ses eaux dans celle de la Poterne, d'où elles coulaient à la rivière; et la crainte d'exciter de justes réclamations de la part des propriétaires riverains de cette rue, a déterminé à faire commencer les remblais dans la rue de la Poterne, à partir de l'extrémité de la rue du Cimetière.

Les eaux pluviales et ménagères du nord de la ville avaient, comme on l'a déjà dit, leur écoulement, avant la construction du nouveau pont, par la rue de la Poterne, dans laquelle on a établi la rampe mentionnée ci-dessus.

Les eaux de la partie du midi avaient leur écoulement par la rue du Vieux-Pont, au moyen de deux gargouilles pratiquées en amont et en aval du pont de bois, qui les jetaient à la rivière.

On aurait voulu éviter de construire un égout sous la rampe du nouveau pont pour faire écouler les eaux du nord de la ville par la rue de la Poterne, comme avant la construction de cette rampe : trois

projets ont été faits à ce sujet ; mais les inconvéniens qui seraient résultés des changemens de pente des rues, et le préjudice qu'auraient éprouvé les propriétaires riverains, ont déterminé l'Administration à autoriser la construction d'un égout.

Cet égout a 45^{m},46^{c} (23^{t} 2^{pds}) de longueur ; sa largeur est de 0^{m},80^{c} (2^{pds} 6^{pces}) ; les pieds droits ont 0^{m},80^{c} (2^{pds} 6^{pces}) d'épaisseur ; la voûte est un plein cintre décrit avec un rayon de 0^{m},40^{c} (15^{pces}) ; l'épaisseur de la clef est de 0^{m},48^{c} (18^{pces}) ; la hauteur sous clef est de 1^{m},94^{c} (6^{pds}) ; le radier est pavé sur forme de mortier de chaux et ciment.

Les moyens employés pour la fondation des travaux hydrauliques sont en général ce qu'il y a de plus important à connaître et à étudier pour les jeunes ingénieurs qui débutent dans la carrière : la théorie qu'ils ont acquise dans le cours de leurs études a besoin d'être appuyée par l'expérience, qui n'est pas toujours d'accord avec elle ; la première nous trace les règles de l'art, développe notre goût, étend nos idées et guide nos conceptions ; la seconde éclaire nos doutes, redresse nos erreurs et fortifie notre jugement. Je ne crains point de le dire ici ; la théorie sans la pratique est plus dangereuse que la pratique sans la théorie, puisque celle-ci ne marche d'ordinaire qu'à l'aide de l'expérience, tandis que l'autre, imbue de son savoir, ne connaît point de danger, et ne reconnaît qu'elle s'est égarée que lorsque l'expérience l'arrête et lui prouve la fausseté de ses hypothèses. Il faut donc convenir que la réunion de la pratique à la théorie est une condition indispensable chez l'ingénieur auquel la direction de grands travaux est confiée ; je reviens à mon sujet.

Avant que je ne fusse chargé du projet du nouveau pont de Nemours, on avait fait des sondes dans le terrain avec une grande exactitude, en les espaçant de 1^{m},94^{c} (6^{pds}) : cette précaution était indispensable pour déterminer le mode de fondation.

Le terrain est composé assez généralement d'une première couche de sable, d'une seconde de marne, qui varie de couleur et sous laquelle se trouve le tuf.

Les couches sont d'inégale épaisseur, tourmentées et, pour ainsi dire, ondulées ; on peut juger aisément qu'elles forment le pied de la rampe

d'une montagne située à peu de distance de la rive droite de la rivière, qu'on appelle la *Montagne du Châtelet*.

Un journal des travaux exécutés dans chaque campagne a été tenu exactement; et, comme on l'a dit plus haut, la fondation des travaux hydrauliques étant ce qu'il y a de plus important à connaître, on va donner l'extrait du journal qui a été rédigé pendant la construction du pont de Nemours.

Première campagne, année 1796.

On a construit dans cette campagne les hangards et magasins nécessaires pour serrer les équipages et outils ; on a établi les forges et bassins pour éteindre la chaux ; on a fait les approvisionnemens pour la fondation d'une pile et d'une culée, et partie de ceux qui devaient être employés dans la campagne suivante ; enfin on a fondé une pile et une culée qui ont été élevées jusqu'à la septième assise, y compris les retraites; c'est-à-dire à la hauteur de $1^{m},7454$ (5^{pds} 4^{pces} 6^{l}) au-dessus de la ligne des basses eaux.

On avait commencé le 21 mars à battre les pieux du bâtardeau du côté de la ville, sur $90^{m},9251$ (46^{t} 4^{pds}) de pourtour, pour la fondation d'une pile et d'une culée. Ces pieux avaient $6^{m},8194$ (21^{pds}) de longueur sur $0^{m},2435$ à $0^{m},2706$ (9 à 10^{pces}) de diamètre. Le battage a été fait avec deux sonnettes à tiraudes, dont les moutons pesaient $400^{kil},1246$ (818^{*}). Chacun des pieux était armé d'un sabot du poids de $6^{kil},1144$ ($12^{*}\frac{1}{2}$) ; ils étaient espacés de $1^{m},2989$ (4^{pds}) de milieu en milieu. Il en a été battu 130, qui ont pris $2^{m},9226$ et $3^{m},2473$ (9 et 10 ^{pds}) de fiche. On a fini de les battre le 14 mai ; ensuite on a posé les liernes et les entretoises.

Les châssis de palplanches ont été battus depuis le 14 mai jusqu'au 11 juin; ils avaient de hauteur $2^{m},9226$, $5^{m},8452$ et $6^{m},1699$ (9, 18 et 19^{pds}), et $0^{m},3788$ sur $0^{m},1082$ (14^{pces} sur 4) d'équarrissage. Chaque sommier était fixé par deux moises armées de brides, et traversé par deux boulons à clavette, de manière que les palplanches intermédiaires étaient battues dans deux coulisses qui les empêchaient de déverser à droite et à gauche. On a battu par jour à-peu-près deux châssis qui prenaient $2^{m},5978$ et $2^{m}9226$ (8 et 9^{pds}) de fiche.

Pendant le temps qu'on battait les châssis, on a commencé, le 9 mai, à draguer l'intérieur du bâtardeau. Le gravier mêlé de fortes pierres et de sable a été enlevé sur 2m,9226, 3m,2473 et 3m,8968 (9, 10 et 12pds) de profondeur au-dessous des basses eaux. On a employé deux dragues dont le service était fait par douze manœuvres et un charpentier. Ce travail a été achevé le 26 juin. On a rempli ensuite l'intérieur du bâtardeau avec de la terre forte, qu'on a eu soin de jeter, autant que possible, par couches égales, en la boulant avec la plus grande attention pour éviter les filtrations qui auraient pu s'établir à travers le corroi de cette terre. Le travail du bâtardeau a été achevé le 9 juillet.

Après la construction du bâtardeau, on a placé les machines à épuiser, au nombre de douze, savoir : sept chapelets, trois vis d'Archimède et deux pompes. Toutes les dispositions étant faites, on a commencé les épuisemens à cinq heures du matin, l'eau étant dans l'enceinte du bâtardeau à 1m,6239 et 1m,9484 (5 et 6 pds) de profondeur. A midi, il n'y avait plus que 0m,487 (18pces) d'eau dans les endroits les plus profonds; à deux heures, il n'y en avait plus que 0m,3247 (1pd); alors quelques efforts qu'aient faits les ouvriers, l'eau est constamment restée à cette hauteur jusqu'à minuit, qu'on a fait cesser le jeu de toutes les machines, voyant qu'elles étaient insuffisantes.

Il est à remarquer que la rivière était augmentée de 0m,5415 (20pces), au point que les caves des maisons, à deux et trois cents pas de la rivière, étaient remplies d'eau à une hauteur de 0m,2165 et 0m,2435 (8 et 9pces); que pendant tout le jeu des machines, elles ont été étanchées, et qu'aussitôt qu'on a eu cessé les épuisemens, l'eau y est remontée à la même hauteur qu'elle occupait avant cette manœuvre.

On a augmenté le nombre des machines de deux chapelets et de deux pompes, et le 22 juillet, le Gouvernement ayant accordé des prisonniers de guerre qu'on lui demandait depuis long-temps, on a commencé les épuisemens à cinq heures du matin, avec un relai de ces prisonniers et un autre d'ouvriers français. L'eau était à 1m,6239 (5pds) dans l'enceinte du bâtardeau; à midi, elle était à 0m,1353 et 0m,1624 (5 et 6 pces), dans le moins profond; à cinq heures, les ouvriers ayant donné un coup de main, l'enceinte fut mise à sec. Il fut facile de voir dans ce moment toutes les sources dont le terrain était criblé. Les ouvriers ne pouvant

soutenir un travail forcé, l'eau reprit son niveau à $0^{m},1624$ (6^{pces}) et resta à cette hauteur.

De seize machines, sept chapelets n'avaient que $3^{m},8968$ (12^{pds}) et $3^{m},5721$ (11^{pds}) de longueur (1), et trois ne pouvaient plus servir. Lorsqu'on eut fouillé les puisards à $0^{m},8118$ (2^{pds} 6^{pces}) de profondeur, on établit une auge dans l'intérieur du bâtardeau dans laquelle dégorgeaient les chapelets les plus longs ; elle conduisait l'eau à la rivière par une seconde auge en retour à l'extrémité du bâtardeau, côté d'amont. Enfin, on a obtenu de faire venir de Paris trois nouvelles pompes, deux chapelets anglais et six grands chapelets : les dispositions définitives furent faites ainsi qu'il suit :

En amont, un chapelet anglais d'environ $0^{m},1624$ (6^{pces}) de diamètre, quatre petits chapelets de $0^{m},1353$ (5^{pces}), deux grands de $0^{m},1624$ (6^{pces}) et une vis d'Archimède.

En aval, sept pompes, dont une de $0^{m},2706$ (10^{pces}) de diamètre, et les autres de $0^{m},2435$ (9^{pces}), deux grands chapelets ordinaires et un chapelet anglais de même dimension que les précédens. Total, dix-huit machines. Ce travail étant fait, on a fouillé les puisards au pied de chaque machine, qu'on a descendue successivement ; alors il a été possible d'enlever les terres à l'emplacement de la culée, et le gravier et le sable à celui de la pile.

On a commencé le battage des pieux de la pile le 1er août. Il a été fait avec trois sonnettes à tiraudes, dont les moutons pesaient $415^{kil},777$, $489^{kil},15$, et $611^{kil},437$ (850, 1000 et 1250#). Les pieux avaient depuis $4^{m},871$ (15^{pds}) jusqu'à $6^{m},8194$ (21^{pds}) de longueur, et $0^{m},3247$ (1^{pd}) de diamètre. Ils étaient armés d'un sabot du poids de $12^{kil},2287$ (25#). Il en a été battu cent vingt-neuf au refus de $0^{m},00345$ à $0^{m},00450$ ($1^{l}\frac{1}{2}$ à 2^{l}) pendant huit à neuf volées.

Ils ont communément pris depuis $3^{m},5721$ (11^{pds}) jusqu'à $6^{m},8194$ (21^{pds}) de fiche dans le terrain. Tous les pieux battus avec le mouton de $415^{kil},777$ (850#) ont été repassés avec celui de $611^{kil},437$ (1250#),

(1) Ces chapelets venaient du magasin du canal de Loing ; on n'avait pu en avoir d'autres, quelques instances qu'on eût faites pour en faire venir de Châlons, où il y en avait qui ne servaient point.



et ont enfoncé depuis 0^{m},1894 (7^{pces}) jusqu'à 0^{m},9742 (3^{pds}). Ce travail a été achevé le 26 septembre.

Pendant le temps qu'on battait à la pile, on enlevait les terres pour la fondation de la culée, qui a été très-difficile par la démolition des restes d'une ancienne tour et d'un mur de ville qu'on a été obligé de faire sauter par la mine. On a commencé à battre les pieux à la culée le 17 août; ils avaient depuis 3^{m},8968 (12^{pds}) jusqu'à 6^{m},8194 (21^{pds}) de longueur, et 0^{m},3247 (1^{pd}) de diamètre; ils étaient armés d'un sabot du même poids que ceux de la pile, et battus également à 0^{m},9742 (3^{pds}) de milieu en milieu. Ils ont pris depuis 1^{m}9484 (6^{pds}) jusqu'à 6^{m}8194 (21^{pds}) de fiche dans le terrain dont la dureté était très-inégale. On a remarqué que sur le derrière de la culée, on battait communément soixante et cent volées de trente coups chacune, avec un mouton de 611^{kil},437 (1250$^{#}$), et que le pieu n'enfonçait que de 0^{m},0045 et 0^{m},0068 (2 et 3^{l}) par volée, pour prendre 1^{m},2989 et 1^{m},6237 (4 et 5^{pds}) de fiche; ensuite il enfonçait de 0^{m},0135 (6^{l}) jusqu'à 0^{m},0271 (1^{pce}), et s'arrêtait au refus total après une décroissance de 0^{m}0271 (1^{pce}) à 0. On a mis la plus grande attention à battre ces pieux, qui ont pris 1^{m},9484 et 2^{m},9225 (6 et 9 ^{pds}) de fiche dans le terrain. Ceux du devant de la culée ont pris la même fiche qu'à la pile, c'est-à-dire, depuis 3^{m},5721 (11^{pds}) jusqu'à 6^{m},8194 (21^{pds}). La saison étant très-avancée, on a pris le parti de faire battre la nuit. Les ouvriers quittaient à sept heures, revenaient à huit, et battaient jusqu'à minuit. Il y a eu des pieux qui ont tenu jusqu'à deux jours. Une sonnette battait ordinairement un pieu et demi par jour, quelquefois deux avec le travail de nuit, très-rarement trois; il en est entré dans la culée deux cent quatre-vingt-neuf. On a employé jusqu'à six sonnettes à tiraudes à ce battage, qui a été achevé le 19 octobre.

Les épuisemens n'étant pas assez bas pour le recepage des pieux et la pose des chapeaux et des racinaux, on a établi trois chapelets et une pompe de plus dans un puisard fouillé à 1^{m},2989 (4^{pds}) de profondeur entre la pile et la culée. On a fouillé également les autres puisards, afin de descendre les machines de 0^{m},1624 (6^{pces}) de plus. On a fait au travers de l'enceinte une tranchée de 2^{m},5978 (8^{pds}) par le moyen de laquelle l'eau passait d'un puisard à l'autre. On avait pu fouiller à

1^m,2989 (4^{pds}) de profondeur l'extrémité du puisard à droite. On a coupé ce même puisard à-peu-près au tiers de sa longueur, de manière que sept machines n'avaient à puiser que les eaux de la fouille de la pile, c'est-à-dire celles du puisard du milieu, et celles de l'extrémité du puisard à droite. Par cette manœuvre et en baquetant dans l'enceinte de la pile, on a commencé, le 5 octobre, la pose des chapeaux et des racinaux; on a ensuite rempli les cases des racinaux en maçonnerie de pierre avec mortier de chaux et sable; on a posé la plate-forme à 1^m,6237 (5^{pds}) au-dessous de la ligne des basses eaux, et la première pierre a été posée le 10 de ce même mois. Pour accélérer ce travail, on avait pris le parti de faire travailler les charpentiers la nuit depuis huit heures jusqu'à minuit

On posait à la pile, et on battait jour et nuit à la culée. Le 19 octobre, jour auquel le battage a été terminé à la culée, la rivière a augmenté considérablement; elle est entrée jusqu'à une hauteur de 0^m,1353 (5^{pces}) dans l'auge de décharge à l'extrémité du bâtardeau à droite, laquelle n'avait que 0^m,1624 (6^{pces}) de pente, y compris celle de la grande auge de l'intérieur du bâtardeau, qui recevait l'eau de quatre chapelets du puisard à droite et des quatre machines du puisard du milieu. On a été sur le point d'être obligé de cesser les travaux, parce que l'auge ne pouvait suffire au dégorgement, l'eau passant par-dessus les bords et refluant dans les goulettes des chapelets; cependant on s'est borné à arrêter deux petits chapelets. On a également arrêté la vis d'Archimède du même côté, en fermant l'ouverture faite au bâtardeau pour l'écoulement des eaux qu'elle épuisait.

Dans le même temps qu'on travaillait à se garantir des eaux de la crue, un renard a paru à l'extrémité de la fouille du mur d'épanlement de la culée à droite. Le fond étant de sable fin et très-pur, les terres en talus se sont d'abord lézardées; enfin, le renard augmentant de plus en plus, il s'est fait une excavation sur 1^m,9484 (6^{pds}) de longueur, et ce renard donnait de l'eau avec une abondance effrayante. On a mis la plus grande diligence à battre des palplanches de 1^m,2989 (4^{pds}) de longueur, qui ont comprimé et maintenu le sable au travers duquel l'eau filtrait; ensuite on l'a enlevé, autant qu'il a été possible, de l'excavation même, qui a été remplie en terre glaise bien battue. Cette opération faite, on a fouillé une tranchée de 0^m,6495 (2^{pds}) de profondeur, devant et au

pied des palplanches qu'on avait eu le soin d'étrésillonner à leur tête. On a rempli également cette tranchée avec de la terre glaise bien battue. Par ce moyen on a arrêté les progrès du renard, qui aurait infailliblement rempli l'enceinte du bâtardeau en très-peu de temps et établi une communication avec la rivière.

La crue n'a été forte que deux jours, pendant lesquels il a fallu doubler le nombre des ouvriers pour faire jouer les machines qui pouvaient épuiser : aucun ouvrage n'a été interrompu.

Pour faciliter le recepage des pieux à la culée et la pose des chapeaux et des racinaux, on a fait une communication de la tranchée du milieu de l'enceinte du bâtardeau avec le puisard du milieu; on a établi de petits bâtardeaux dans l'enceinte de cette fouille de cette culée, et, à l'aide d'un baquetage, on est parvenu à faire ce travail. Le 25 octobre on a commencé à poser les chapeaux au derrière de la culée; on a posé en même temps les racinaux, fait la maçonnerie dans leurs cases, et posé les plate-formes. Le 27 du même mois on a posé les libages des retraites au derrière de la culée, et l'on a continué la pose à mesure que les charpentiers ont avancé, de manière que ces deux ouvrages ont marché ensemble.

Avant de poser à la pile et à la culée, on a tracé avec la plus grande attention l'emplacement de la première retraite, et bien déterminé l'axe du pont sur les plate-formes. La première assise a été posée sur cales, ensuite fichée avec soin, avec mortier de chaux et ciment, tiercé de chaux; autour de cette assise, on a posé une lambourde triangulaire en bois de chêne, garnie de mousse sur la plate-forme et le long de l'assise, afin d'empêcher que l'eau ne lavât et n'enlevât le mortier de ce premier lit : cette lambourde a été fixée sur la plate-forme avec chevillettes de 0m,2165 à 0m,2435 (8 à 9pces). Le remplissage, entre les retraites de la pile, a été fait en libage essemillé, avec mortier de chaux et ciment.

Les têtes des avant et arrière-becs ne sont composées que de deux pierres; l'une, engagée de 0m,1624 (6pces) dans le corps carré de la pile, comprend à-peu-près les deux tiers de la partie circulaire; l'autre comprend le restant de cette partie circulaire, et est engagée de 1,4613 (4pds 6pces) dans le corps carré de la pile. Au milieu de la pile et à la suite des pierres des avant et arrière-becs, on a posé des parpaings qui prennent l'épaisseur entière de la pile, c'est-à-dire 2m,2731 (7pds) à

chaque assise ; il a été posé alternativement trois et deux de ces parpaings.

On a posé à la pile sept assises ; savoir : les trois retraites chacune de $0^m,5412$ (20^{pces}) de hauteur, dont la première est à la hauteur des basses eaux ; deux assises chacune de $0^m,487$ (18^{pces}), une de $0^m,4059$ (15^{pces}), portant harpes de $0^m,1624$ (6^{pces}) pour recevoir les jambes de force des cintres, et une quatrième de $0^m,3653$ (13^{pces} 6^l). Les cinq assises qui restaient à poser jusqu'au-dessous du couronnement de la pile et de la culée ont la même hauteur.

Le remplissage entre les retraites de la culée a été fait en libage sur la hauteur de la première et de la deuxième retraites, à partir de la plate-forme. La demi-pile, les murs d'épaulement ont été élevés sur quatre assises de hauteur de mêmes dimensions que celles de la pile, sur une hauteur totale de $3^m,3691$ (10^{pds} 4^{pces} 6^l).

Le derrière du parement de la demi-pile a été garni en libage, particulièrement dans la partie opposée à la poussée des voûtes, sur $2^m,5978$ et $2^m,9226$ (8 et 9^{pds}) d'épaisseur ; les murs d'épaulement ont été garnis d'un seul rang au derrière de leur parement.

Après la pose de la deuxième assise de $0^m,487$ (18^{pces}) au-dessus des retraites à la culée, on a fait cesser les épuisemens le 20 novembre.

Une expérience a prouvé la solidité et le soin avec lesquels le bâtardeau avait été fait. Quarante-huit heures après la cessation totale des épuisemens, on a nivelé la hauteur de l'eau contenue dans l'enceinte du bâtardeau et celle de la rivière ; l'eau de l'enceinte s'est trouvée plus haute de $0^m,1624$ (6^{pces}). Elle est restée à cette différence jusqu'à l'enlèvement des terres de l'intérieur du bâtardeau. On a conclu que les sources dont l'enceinte était criblée, particulièrement près et dans l'emplacement de la culée, venaient des terres et non de la rivière. Ce qui est arrivé pour les caves des maisons situées à deux et trois cents pas des travaux lors du premier essai pour les épuisemens, confirme cette opinion.

Les épuisemens ayant été très-difficiles et très-dispendieux, on a fait des expériences sur le produit des différentes machines employées à cette opération (1), afin de connaître la quantité d'eau épuisée en vingt-

(1) Le mode suivi pour les expériences et leur résultat ont été joints au journal adressé à l'Administration générale.

quatre heures. Lorsque les vingt-une machines étaient en mouvement, elles donnaient en vingt-quatre heures $14074^{m\,c},075$ (51375 muids); mais comme seize machines étaient le plus habituellement employées, et que les ouvriers travaillent plus fort pendant l'heure où l'on compte le nombre de tours de la chaîne et de levées du piston qui servent à l'expérience; enfin comme les calculs employés pour établir ces expériences ne supposent aucune interruption, on estime qu'on doit porter à $12875^{m\,c},501$ (47000 muids) la quantité moyenne d'eau épuisée dans vingt-quatre heures.

La mauvaise saison ayant empêché de continuer les travaux, on a enlevé deux côtés du bâtardeau, les machines et équipages; on a renvoyé les prisonniers de guerre et les différens ouvriers, à l'exception de deux forgerons et de leurs batteurs en avant, d'un compagnon d'établi, de neuf charpentiers et de neuf tailleurs de pierre, tous connus pour bons sujets et les meilleurs ouvriers. Pendant l'hiver on s'est occupé à réparer les équipages, les machines, et à faire toutes les dispositions nécessaires pour commencer la deuxième campagne, dont le projet suit.

Projet de campagne pour l'année 1797.

On vient de voir combien les épuisemens pour la fondation d'une pile et d'une culée ont été difficiles et ont dû être dispendieux. L'esprit d'économie qui doit diriger essentiellement un ingénieur dans la conduite des travaux, a porté à chercher un moyen qui diminuât sensiblement la dépense pour la campagne suivante : on l'a trouvé en calculant la force du cours de la rivière, pour voir s'il pourrait être employé au mouvement d'une machine hydraulique.

La plus petite section de la rivière, entre le bâtardean et le faubourg, est de $16^{m\,q},239481$ ($154^{pds\,q}$); la moindre vitesse de cette section est de 1145^{pds} par seconde, ce qui donne une dépense de $6^{m\,c},026801$ ($176^{pds\,c}$). Si, par le moyen d'une machine hydraulique qu'on se propose de construire, on oblige la rivière à passer entre la pile élevée et la partie du bâtardeau qui doit rester, la vitesse de l'eau sera de 5,867 : elle acquiert donc un surcroît de vitesse de 4,724, ce qui suppose un remont de $0^{m},3689$; mais à cause de la contraction de l'eau forcée à s'écouler

dans un coursier de $4^m,871$ (15^{pds}) de largeur, distance de la première retraite de la pile à la lierne du bâtardeau, on portera ce remont à $0^m,3247$ (1^{pd}), qui est la plus grande hauteur qu'on puisse lui donner.

Si l'on construit une machine à godets susceptible du plus grand effet, la vitesse de la roue à aubes devant être les deux cinquièmes de celle du courant, sera de 2,34. Le double de la hauteur due à cette vitesse est de $0^m,1814$; et les aubes ayant $4^m,871$ (15^{pds}) de largeur, $0^m,9742$ (3^{pds}) de hauteur, le prisme d'eau, mesure du choc, sera de 5,442, et abstraction faite du frottement et des résistances à l'effet de la machine, elle pourra enlever en vingt-quatre heures $15969^{mc},079491$ (58773 muids $\frac{6}{10}$).

Il faut retrancher de ce produit les quantités absorbées par le choc des godets contre l'eau des puisards, et par le frottement de l'essieu de la machine contre son pallier. Or, pour bien ménager l'écoulement, le fond du coursier de la machine devra être établi au niveau du lit primitif de la rivière en amont, et même un peu plus haut, c'est-à-dire à $0^m,9742$ (3^{pds}) au-dessous des basses eaux : c'est à cette hauteur qu'on placera le seuil des vannes. Le centre de la roue étant placé à 3^{pds} au-dessus des basses eaux, et les aubes parcourant un saut plus bas de $0^m,6495$ (2^{pds}) que le seuil du radier, la roue à aubes aura $2^m,5978$ (8^{pds}) de rayon. La roue à godets devant puiser l'eau à 3^{pds} au-dessous de la plate-forme, son rayon sera de $3^m,5721$ (11^{pds}). Le produit, ramené à l'extrémité de ce rayon, se réduit à $10733^{mc},775031$ (39182 muids $\frac{4}{11}$) en vingt-quatre heures.

La vitesse de la roue à godets étant de 3,51, si l'on suppose son choc contre l'eau du puisard équivalent à celui d'une aube de $0^{mq},316354$ (3^{pdsq}) mue avec la même vitesse, il absorbera en vingt-quatre heures $998^{mc},842737$ (6609 muids $\frac{6}{10}$).

Si l'on suppose le poids de la machine de $4891^{kil},5$ (10000^{*}) et l'essieu de $0^m,1353$ (5^{pcm}) de diamètre, son frottement absorbera en vingt-quatre heures $1358^{mc},859325$ (4960 muids $\frac{6}{10}$); le produit précédent sera donc, en ayant égard aux résistances étrangères, de $7564^{mc},3891$ (27612 muids $\frac{3}{10}$) en vingt-quatre heures. Les épuisemens avec seize machines mues à bras d'hommes produisent en vingt-quatre heures $12884^{mc},06187$ (47250 muids). On voit qu'en construisant une ma-

chine hydraulique d'après les principes précédens, on économiserait plus de moitié sur la dépense des épuisemens, c'est-à-dire plus de 50,000 fr., en supposant qu'ils soient les mêmes pour la fondation de la pile et de la culée qui restent à fonder.

On propose de fonder, dans le cours de la campagne prochaine, la deuxième pile et la deuxième culée du côté du faubourg des Tanneurs, de les élever jusqu'à la naissance des voûtes, ainsi que la pile et la culée fondées dans la campagne dernière, auxquelles restent à poser cinq cours d'assises pour arriver à cette hauteur.

Deuxième campagne, année 1797.

On a fait réparer les machines et les équipages dans les mois de janvier et février, et continuer la pique de la pierre autant que la saison l'a permis, par les meilleurs ouvriers conservés au nombre de douze.

Fondation des deuxièmes Pile et Culée.

Le 22 février on a fait commencer le battage des pilotis pour la construction du bâtardeau, la pose des liernes, le battage des châssis, la pose des entretoises, le dragage pour l'enlèvement du sable et du gravier dans l'intérieur des caisses du bâtardeau, leur remplissage en terre franche pour empêcher les filtrations dans l'enceinte des travaux; tout a été terminé le 28 mars suivant.

Comme on avait conservé la tête du bâtardeau de la dernière campagne, parallèle au cours de la rivière, on n'a eu qu'à construire les côtés d'amont et d'aval.

On s'est servi, autant qu'il a été possible, des anciens bois et fers pour cette construction, dont les détails sont les mêmes que ceux portés dans le journal de l'année précédente. On a seulement changé la forme du bâtardeau, qu'on a élargi de 9m,0925 (28pds) vers les berges de la rivière, afin d'avoir plus de facilité qu'on n'en avait eu l'année précédente pour la fondation des murs d'épaulement de la culée.

Les épuisemens de l'année précédente ayant été très-difficiles et très-dispendieux, on a établi la machine hydraulique dont on vient de parler, et qui a suffi seule aux épuisemens de cette année avec le secours



de quelques petits contre-bâtardeaux et de quelques bacqueteurs pour la pose des chapeaux et des racinaux.

Pour établir cette machine, on a forcé la rivière, par le moyen d'un barrage, à passer par un coursier de 3^{m},775 (11^{pds} 7^{pces} 6^{l}), afin de lui donner le cours nécessaire au mouvement de cette machine, qui est composée de deux roues, une à aubes et l'autre à godets, montées sur un seul arbre. La roue à aubes a 16^{pds} de diamètre; elle est garnie de 16 aubes de 3^{m},7209 (11^{pds} 5^{pces} 6^{l}) de longueur et de 1^{m},7861 (5^{pds} 6^{pces}) de hauteur.

La roue à godets a 7^{m},1441 (22^{pds}) de diamètre; elle est garnie de 16 godets, dont le centre est éloigné de l'axe de 3^{m},8393 (11^{pds} 822).

La face supérieure d'un godet est de 0^{m},7240 (2^{pds} 229). La distance du centre de cette surface à l'axe est de 3^{m},7283 (11^{pds} 485); leur capacité totale, compris le vide de l'ouverture, est de 1^{m},1494 (4^{pds} 4^{pces} 4^{l} 7^{p}).

Le poids total de la machine est de 13372^{kil},8163 (27339*).

L'arbre est composé de deux morceaux dont l'assemblage est fortifié par deux frettes moufflées placées sur les joints des extrémités de l'assemblage, et couvert par un manchon de 0^{m},1082 (4^{pces}) d'épaisseur, fixé et maintenu sur l'arbre par six autres frettes moufflées.

Il porte sur des tourillons de 0^{m},0880 (3^{pces} 3^{l}) de diamètre, tournant dans des palliers de cuivre et sur une chantignole de fer placée vers son milieu. L'arbre, arrondi dans cette partie, est garni de lames de fer maintenues par deux frettes moufflées de 0^{m},6766 (25^{pces}) de diamètre.

Le résultat moyen des observations faites sur le produit de cette machine donne 0^{m},0992 (2^{pds} 907) pour le cube de l'eau contenue dans chaque godet, et 3,65 pour le nombre de tours que la roue fait dans une minute. Il s'ensuit que la quantité élevée dans une minute est de 5$^{m c}$,8132 (169$^{pds c}$ 7688), et en vingt-quatre heures de 8371$^{m c}$,406 (244467$^{pds c}$,072) ou 30558 muids.

Pour empêcher les affouillemens sous la roue à aubes, on a échoué un radier maintenu à ses deux extrémités par deux châssis de palplanche, et fixé sur des pieux battus à cet effet.

On a aussi garni d'un rang de palplanches le bâtardeau dans la longueur du coursier, et en retour en amont. Les intervalles entre les

châssis du bâtardeau et les palplanches ont été remplis avec du foin et de la terre franche bien boulés.

La rivière étant barrée et n'ayant de cours que par le coursier de la machine, on a établi trois vannes de décharge, chacune de 1^{m},9484 (6^{pds}) de largeur, afin de pouvoir baisser celles de la roue à aubes et faire les réparations nécessaires sans interrompre le cours de la rivière.

Le déblai des terres pour la fondation de la pile a été commencé le 4 juillet, et a été terminé le 17 du même mois.

Celui de la culée a été commencé le 19 juillet, et a été terminé le 1er octobre suivant. Ces terrasses ont été données à la tâche; savoir : celles de la pile, à 2 fr. 4471 le mètre (18 fr. la toise cube); et celles de la culée, à 1 fr. 6314 le mètre (12 fr. la toise cube).

Le battage a été commencé à la pile avec trois sonnettes, ensuite à la culée avec six, et a été terminé le 18 octobre. Chacune de ces sonnettes était manœuvrée par quarante-deux hommes, et était montée d'un mouton pesant 587^{kil} (1200$^{\#}$).

Les pieux ont été donnés à la tâche au prix de 45 fr. chaque, non compris le charpentier ou enrimeur.

Chaque sonnette battait environ deux pieux et un quart par jour.

En général, le terrain s'est montré plus facile en amont qu'en aval; à la pile et à la culée, il y a des pieux qui ont avec leur ente jusqu'à 14^{m},61^{c} (45^{pds}) de longueur de fiche. Tous les pieux non entés ont été battus au refus d'une ligne et demie, deux lignes, après 8 et 9 volées; et ceux qu'on a été obligé d'enter l'ont été au refus absolu après le même nombre de volées.

Aussitôt après le battage fini, on a posé les chapeaux, les racinaux, rempli leurs cases en moellons avec mortier de chaux et sable, et posé les plates-formes.

On a commencé la pose des retraites de la pile le 5 octobre, et la maçonnerie a été élevée de suite jusqu'à la huitième assise.

Le 25 du même mois on a commencé à poser à la culée, et on a élevé de suite jusqu'à la septième assise.

Pendant le temps qu'on faisait les terrasses, qu'on battait les pieux, etc., pour la fondation des deuxièmes pile et culée, on a posé cinq assises à

celles fondées l'année précédente. Cette pile et cette culée ont été élevées jusqu'à l'assise du couronnement.

On a également fondé et élevé jusqu'à 3^{m},9510 (12^{pds} 2^{pces}) le mur de soutennement des terres sur la moitié de la place à l'abord du pont. Sa fondation a été établie au niveau des plus basses eaux sur un grillage composé de longrines et de traversines, dont les cases ont été remplies avec moellon et mortier de chaux et sable.

La mauvaise saison ayant empêché de continuer les travaux, on a renvoyé les prisonniers de guerre à leur dépôt, et les différens ouvriers, excepté ceux nécessaires pour l'enlèvement du bâtardeau de la grande machine à épuiser et du barrage de la rivière.

On a seulement conservé deux forgerons et six charpentiers pour la réparation des équipages, et six tailleurs de pierre, afin d'avoir assez de pierre piquée à l'ouverture de la campagne suivante, pour ne pas interrompre la pose.

Les ouvrages de fondation ayant été terminés dans cette deuxième campagne, on se contentera de parler maintenant des opérations les plus importantes parmi celles exécutées pour l'achèvement du pont, et de faire connaître les moyens qui ont assuré le succès de cette construction hardie.

Calcul des ordonnées nécessaires pour tracer les arches du pont de Nemours, de quatre-vingt-treize pieds de rayon.

(Planche Ire, figure 1re.)

Pour tracer les intrados des voûtes, on portera sur la demi-corde *D. B.* 25 parties égales d'un pied chacune; on mènera, par les points de division, les ordonnées perpendiculaires *PM*, dont on déterminera les longueurs par la méthode suivante : soit menée, par un quelconque des points *M*, la ligne *MQ* parallèle à *DB*, laquelle rencontre le rayon *CE* en *Q*; on aura, par la propriété du triangle rectangle et par la construction de la figure, l'équation $MP = \sqrt{(CM)^2 - (DP)^2} - CD$, au moyen de laquelle on a formé la table qui renferme les valeurs des lignes nécessaires au tracé des arches. Ce tracé, exécuté avec soin,

donnera un polygone dont le contour se confond avec la circonférence, puisque, dans un cercle de 93 pieds de rayon, le sinus-verse d'un arc d'un pied est à peine de 9 points. La table se compose de deux colonnes; la première comprend les quantièmes des ordonnées; la seconde comprend la valeur des ordonnées en pieds et subdivisions du pied.

Calcul des Lignes nécessaires au tracé de l'Epure.

(Fig. 2ᵉ.)

Pour tracer les joints sans recourir au centre et à la division immédiate de l'arc, on mènera, par le milieu de chaque point, un rayon *CLM* qui rencontre en *L* et en *M* les deux parallèles *DB* et *FG*, dont la seconde passe à trois pieds au-dessus des points *E*; et l'on calculera les longueurs *DL*, *FM* par les deux analogies suivantes :

Rayon : tang. $DCL :: DC : DL$,
Rayon : tang. $DCL :: CF : FM$.

Or, la valeur angulaire des arcs *EB* étant connue, si le rayon *CM* passe par un point dont le quantième, à partir de la clef, est désigné par q, on trouvera l'angle *DCL*, en multipliant par qi l'angle constant MCM' formé au centre par deux rayons consécutifs, et en ajoutant à ce produit l'angle *FCH* formé au centre par la demi-clef.

Sur quoi il faut observer que dans le calcul de l'arc *EB*, on a poussé l'approximation au-delà des tierces, afin que l'angle $NCM = \frac{2EB}{39}$, étant multiplié par la quantité variable qi, donne, sans erreur sur les secondes, chacun des angles *DCL*. On a formé, d'après ces principes, une table qui renferme les valeurs des lignes *DL* et *FM* pour les arches du pont de Nemours. Si de part et d'autre de la ligne *OM* tracée par les points correspondans *L* et *M*, on porte la demi-largeur *OI* de chaque joint, en menant au rayon *OM* les parallèles *IK*, on déterminera non-seulement chaque joint, mais encore chaque voussoir. La table se compose de deux colonnes; la première comprend les valeurs des lignes *DL* en pieds et en subdivisions du pied; la seconde comprend les valeurs des lignes *FM* en pieds et subdivisions du pied.

Angles des Voussoirs avec la verticale.

(Fig. 3e.)

On sait par expérience que, pendant le tassement d'une grande voûte, le resserrement des joints diminue à l'intrados depuis les naissances jusqu'au sommet, et qu'à l'extrados, au contraire, il diminue depuis le sommet jusqu'aux naissances. Il est donc essentiel de se prémunir contre ces effets en donnant aux joints une largeur convenable tant à l'intrados qu'à l'extrados, afin qu'après le tassement ils soient par-tout d'une égale largeur.

Or, supposons la voûte extradossée (cette hypothèse simplifie les calculs et n'apporte aucune différence dans les résultats), et le rayon *Cc* de 100 pieds, en retranchant de l'arc *be* l'arc occupé par les extrados fictifs des voussoirs, il restera pour les joints une quantité qu'on répartira de manière que la plus grande largeur se trouve à la clef et la plus petite aux coussinets. La progression de la diminution des joints étant bien établie à l'extrados, on calculera, comme on a fait pour l'intrados, tous les arcs *ef* où se terminent les voussoirs prolongés, ensuite leur sinus *hf*. Si de ces derniers on retranche les sinus *HF* déjà trouvés, on connaîtra leur différence *fn* qui servira à calculer l'angle *fFn* que le parement *Ff* de chaque voussoir forme avec la verticale. Si dans la pose on place le point *F* conformément aux calculs précédens, et qu'en appliquant le quart de cercle sur la surface *Ff* on fasse l'angle *fFn* égal à celui trouvé par le calcul, on sera certain que chaque voussoir est à sa place, et que les joints ont la largeur qu'on leur a donnée tant à l'intrados qu'à l'extrados. C'est d'après ces principes qu'on a calculé la table des angles des voussoirs avec la verticale.

En supposant le rayon de 100 pieds, on trouve pour le développement fictif des extrados 64^{pds} 70418, et pour celui des joints 3^{pds} 2632 : or, en donnant $9^{l} = 0^{pd}$ 0625 aux joints du coussinet, et en augmentant chaque joint de la quantité 0^{pd} 002008, on trouve pour les joints de la clef 0^{pd}, 10066; de sorte que dans la voûte non extradossée les joints des coussinets ont un peu plus que 7^{l} à l'extrados, et ceux de la clef un peu moins que 1^{po}. La table se compose de deux colonnes; la première

comprend le rang des voussoirs à partir des naissances; la seconde comprend les angles des voussoirs avec la verticale.

Surhaussement des Arches.

(Fig. 4e.)

On estime que le tassement des arches sera à-peu-près de 7^{po}; de sorte qu'en surhaussant le cintre de cette quantité pour la pose des voussoirs, leur rayon se réduit à 80 pieds, et leur développement devient égal à 50^{pds} 851812.

Si dans l'épure on donne $8^{l} = 0^{po},05555$ de largeur à chaque joint, on aura pour les 40 joints 2^{pds} 2222. Ce nombre étant retranché de la longueur de l'arc vrai $AEB = 50^{pds}$ 622612, laisse pour la somme des intrados des 39 voussoirs 48^{pds} 400,390; ce qui donne pour chaque voussoir $1^{pd}\ 2^{po}\ 10^{l}\ 8^{p}$ à-peu-près.

Si de l'arc surmonté $AEB = 50^{pds}$ 851812 on retranche la somme des intrados des 39 voussoirs $= 48^{pds}$ 400390, il restera pour les intrados des joints dans la pose la quantité de 2^{pds} 451422 : or, en donnant aux joints de la clef $6^{l}\ 0^{pd}$041666, et en augmentant chaque joint, depuis le sommet jusqu'aux naissances, de la quantité 0^{pd},0020651 $= 3^{l}\frac{1}{2}$ à-peu-près, on aura pour les joints des coussinets 0^{pd} 0809044 $= 11^{l}\ 8^{pds}$, ce qui suffira pour que l'action inégale de la pression pendant la pose et après le décintrement rende aux joints leur parallélisme.

Calcul des distances de l'Arête supérieure de la douelle de chaque voussoir à une ligne horizontale et à une verticale passant par les naissances.

Pour poser chaque voussoir, il faut connaître la distance d'une de ses arêtes à deux lignes fixes perpendiculaires entre elles, et déterminer l'angle que forme un de ses joints de lit avec un plan vertical. Le calcul des premières quantités se réduit à trouver, au moyen des intrados de chaque voussoir, de chaque joint et de la différence des joints, la valeur angulaire des arcs EF, ensuite leur sinus et leur cosinus : or, si on désigne par l la longueur d'un arc de cercle qui a V pour rayon, par A sa valeur angulaire et par n la longueur du degré d'un cercle dont le rayon est

l'unité ($n=0$, 017453292, etc., log. $n=8.$ 241877367, etc.), on aura log. A=log. l—log. r—log. n. Si l'on suppose $r=80$, on aura log. A=log. l. + 9,8550326, équation qui sert à trouver la valeur angulaire de tous les arcs de 80[pds] de rayon lorsque leur développement l est connu. Supposons que F soit le 10e voussoir à partir de la clef; pour avoir l'arc EF, on multipliera par 9 le nombre des degrés de l'intrados d'un voussoir augmenté de 6 lignes, qui sont la largeur du plus petit joint; on ajoutera ensuite au produit la valeur angulaire qui répond à la demi-clef et à son joint de 6 lignes, et les dix premiers termes d'une progression arithmétique dont le premier terme =0 degrés et dont la différence =0° 00147902. La somme étant convertie en fraction sexagésimale, on cherchera son sinus et son cosinus dans un cercle de 80 pieds de rayon.

Chaque voûte du pont étant composée de trente-neuf voussoirs, il y a eu quarante joints entre les deux coussinets; mais comme les portions d'arc à droite et à gauche de la clef sont symétriques, on s'est contenté de déterminer les épaisseurs des vingt joints d'une demi-voûte.

La somme de ces vingt joints étant fixée à 10 pouces suivant le projet, il eût suffi, en posant les voussoirs, de les écarter de 6 lignes les uns des autres, si l'on avait pu empêcher les effets du tassement, qui sont toujours, d'après l'expérience, de resserrer les joints de l'intrados vers les naissances, et de les écarter au contraire vers la clef. Comme il était impossible d'éviter ces effets dans la construction avec des cintres retroussés, il a fallu de toute nécessité augmenter l'épaisseur des joints aux naissances pour prévenir la fracture des voussoirs, et diminuer au contraire celle des joints vers la clef, afin qu'après le tassement total, ces joints ne se trouvassent pas avoir plus de largeur que ceux situés vers le quart de la voûte.

Si l'on considère que la somme de tous les joints ne pouvant pas changer, la diminution des uns doit compenser l'augmentation des autres, on verra facilement que le moyen le plus simple de parvenir à cette compensation est, après avoir fixé à *priori* la largeur du premier joint, de calculer la différence d'une progression arithmétique dont la somme des termes est 10 pouces, leur nombre 20, et le premier terme la quantité prise à volonté. En fixant à 1^l la largeur du joint à la clef, on trou-

vera, en se servant des formules connues, que les joints devront augmenter de $\frac{10}{19}$ en marchant vers les naissances.

Mais quelle que soit la précision de la pose des voussoirs, il est physiquement impossible de suivre exactement cette loi, à cause de la petitesse des subdivisions ; on doit alors, par tâtonnément, en chercher une qui soit en même temps commode pour la pratique et peu différente de celle que donne le calcul. On a rempli à-peu-près ces deux conditions dans la pose des voûtes du pont de Nemours, en faisant croître les joints de $\frac{1}{2}$ ligne, depuis la clef jusqu'au 15[e] voussoir, et de 1 ligne depuis ce 15[e] voussoir jusqu'aux naissances.

La raison qui a fait augmenter la loi au 15[e] voussoir, est que c'est toujours vers cette partie jusqu'aux naissances que le tassement est le plus considérable; on n'aurait pas pu d'ailleurs trouver les 10 pouces, somme totale des joints, en continuant d'augmenter de $\frac{1}{2}$ ligne jusqu'au vingtième.

La somme totale résultant de l'augmentation adoptée l'emporte, à la vérité, sur celle fixée par le projet; mais si l'on observe que le surhaussement des cintres augmente la longueur de l'arc, et que cette longueur ne peut revenir à ce qu'elle était d'abord qu'après le tassement total, qui n'est jamais fini que long-temps après la pose des clefs, on verra que cet excès était indispensable.

Les effets du tassement à l'extrados étant l'inverse de ce qu'ils sont à l'intrados, la loi que l'on a suivie pour les épaisseurs des joints supérieurs horizontaux a été encore la même, mais prise dans un ordre inverse. Ainsi pour le premier voussoir, le joint horizontal inférieur a été de 12 lignes, et le joint horizontal supérieur a été de 1 ligne. Pour le deuxième voussoir, le joint à l'intrados a été de 10 lignes, et le joint à l'extrados a été de 2 lignes. On a continué de la même manière, en prenant toujours pour un même plan de joint les nombres qui, dans la table, sont à égale distance des extrêmes.

La table se compose de trois colonnes : la première comprend le rang des voussoirs à partir des naissances. La seconde comprend la distance de l'arête supérieure de la douelle de chaque voussoir à la verticale, passant par une des naissances. La troisième comprend la distance des mêmes points à l'horizontale passant par les naissances.

Expériences sur la main-d'œuvre de différens ouvrages exécutés pour la construction du Pont de Nemours, et sur le produit des machines à épuiser employées pour sa fondation.

CONSTRUCTION DES BATARDEAUX.

ARTICLE PREMIER.

Battage des pilotis.

Il a été battu cent trente pilotis pour former l'enceinte du bâtardeau qui a servi à fonder une pile et une culée. Ils avaient 6 mètres 48 cent. et 6 mètres 80 cent. de longueur, et 24 et 27 centimètres de diamètre moyen.

Ils étaient espacés de 1 mètre 29 centimètres de milieu en milieu.

Le battage a été fait avec des sonnettes à tirande, montées d'un mouton du poids de 391 kilogrammes, tiré par la force de trente-deux hommes. Ces pilotis ont pris depuis 3 mètres 24 cent. jusqu'à 4 mètres 53 cent. de fiche.

Ils étaient armés chacun d'un sabot du poids de 5 kilogrammes 86 gram., parce que le terrain dans lequel ils ont été battus était couvert des débris de l'ancien pont de pierre, qui a été emporté par la crue de 1770.

On a employé huit cent dix journées à battre les cent trente pilotis, ce qui fait six journées vingt-trois centièmes pour chacun.

Le nombre moyen de pilotis battus par jour, par chaque sonnette, est de 5,2 dixièmes (1).

---

(1) On observe, une fois pour toutes, qu'il faut ajouter la journée du charpentier ou enrimeur conduisant la sonnette, au nombre des journées employées à battre un pilotis, un châssis, etc.

II.

Battage des châssis.

Il en a été battu soixante-neuf, composés chacun de neuf palplanches de 32 centimètres de largeur, 108 millim. d'épaisseur, et 5 mètres 84 cent. et 6 mètres 16 cent. de longueur.

Chaque sommier était fixé par deux moises armées de brides, et traversé par deux boulons à clavettes, de manière que les palplanches intermédiaires étaient battues dans deux coulisses qui les empêchaient de déverser à droite et à gauche.

Chaque palplanche était armée d'un sabot du poids de 5 kilogrammes 37 gram. On a fait ce battage avec les sonnettes qui avaient servi à celui des pilotis. On y a employé 1180 journées de manœuvre, ce qui fait 17 journées 1 dixième pour chacun.

Le nombre moyen que chaque sonnette a battu par jour est de deux châssis.

III.

Enlèvement des sable, vase et terre jusqu'au tuf, dans la caisse du bâtardeau.

Une drague armée de trois griffes et de trois hottes, manœuvrée par quatre hommes se relayant de deux en deux heures, a creusé, pendant dix-sept jours de quatorze heures de travail, un puisard de 2 mètres 97 cent. de profondeur, de 8 mètres 76 cent. de longueur, et de 2 mètres 59 cent. de largeur, ce qui produit un déblai de sable, gravier, un peu entremêlé de pierres assez grosses, se montant à 67 mètres 86 cent. cubes.

On remarquera qu'à la surface du lit des rivières, les hottes se remplissent très-bien, et qu'à mesure qu'on descend, elles se remplissent moins, quoiqu'on remue les terres à l'entour de la drague avec deux lances; enfin, qu'elles déblaient peu lorsqu'on approche de la glaise, du tuf ou du roc; de sorte que si on ne creusait dans le sable que la moitié de la hauteur précédente, le mètre cube reviendrait à beaucoup moins; et il reviendrait à beaucoup plus si on voulait draguer à une profondeur de 4 à 5 mètres.

IV.

Battage des pieux de fondation.

Ces pieux avaient, comme on l'a vu par l'extrait du journal, depuis 5 mètres 51 cent. jusqu'à 6 mètres 81 cent. de longueur, et 32 centimètres de diamètre moyen ; ils étaient armés d'un sabot du poids de 12 kilogrammes 41 gram.

Cette main-d'œuvre a été donnée à la tâche pour la fondation d'une pile et d'une culée.

On a employé des sonnettes à tiraude, montées d'un mouton de 587 kilogrammes 41 gram., tiré par quarante-quatre hommes.

Le battage a été fait au refus de 4 millimètres après neuf volées consécutives de trente coups chacune, pendant lesquelles les pieux n'entraient pas davantage.

Ils ont pris depuis 5 mètres 51 cent. jusqu'à 6 mètres 81 cent. de fiche, en traversant les couches d'un terrain sableux, graveleux et marneux, pour arriver au tuf.

On avait le soin de proportionner la longueur des pieux à la profondeur du terrain jusqu'au tuf, connue par les sondes qui avaient été faites avant de commencer la construction du pont.

Le prix du battage de chaque pieu était payé 45 francs.

Chaque sonnette battait ordinairement un pieu et demi par jour, très-rarement deux.

On a remarqué que, sur le derrière de la culée, on battait communément quatre-vingts et cent volées de trente coups chacune, avec un mouton de 587 kilogrammes 41 gram., et que les pieux n'entraient que de 4 à 6 millimètres après les premières volées, pour prendre 1 mètre 29 cent. à 1 mètre 62 cent. de fiche ; ensuite ils entraient de 15 jusqu'à 27 millimètres par volée ; enfin la fiche, par volée, allait ensuite en décroissant depuis 27 millimètres jusqu'à zéro. Il y a de ces pieux qui ont tenu jusqu'à deux jours pour prendre 3 à 4 mètres de fiche.

On pense que la difficulté qu'on a éprouvée au commencement du battage de ces pieux vient d'un banc de sablon qui avait environ 3 mètres de hauteur, et qu'il fallait traverser avant d'arriver à une couche de marne glaiseuse sous laquelle était le tuf.

V.

Recepage des pieux.

Dix charpentiers ont recepé bien de niveau quatre-vingt-dix pieux de 37 à 40 centimètres de diamètre dans une journée, ce qui fait neuf pieux recepés par journée de charpentier. Le recepage a été fait avec la coignée.

VI.

Pose des chapeaux sur les pieux.

Dix charpentiers ont employé une journée à poser quatre chapeaux de 30 mètres 20 cent. de longueur ensemble, dans lesquels ils ont fait trente mortaises de 32 centimètres de longueur, 5 centimètres de largeur et 10 centimètres de profondeur. Ils ont été posés sur trente pieux, dans lesquels les mêmes charpentiers ont taillé trente tenons pour l'assemblage des quatre chapeaux, ce qui fait une journée de charpentier pour trois tenons et trois mortaises.

Quatre assemblages obliques ou droits de chapeaux de 32 centimètres d'équarrissage, entaillés de 16 centimètres l'un dans l'autre, ont employé une journée de charpentier.

VII.

Pose des racinaux sur les pieux intermédiaires et entre les chapeaux.

Il a été employé vingt-quatre journées de charpentier à la pose de vingt-quatre racinaux de 4 mètres 42 cent. de longueur, sur 21 à 27 centimètres d'équarrissage.

Chaque racinal porte sur trois pieux, dont deux sans tenons.

L'assemblage a été fait carrément par les deux bouts dans les chapeaux, sur une hauteur de 10 centimètres, avec embrèvement de 2 centimètres sur le reste de la hauteur du racinal.

Il a donc été employé une journée de charpentier pour l'assemblage carré des deux bouts du racinal de la longueur et de la grosseur ci-dessus.

VIII.

Plateforme en madriers de 10 centimètres d'épaisseur.

Il a été employé quatre journées un tiers de charpentier à la pose de 69 mètres 42 cent. carrés de plateforme, et une journée de même ouvrier pour la tableter; en total, cinq journées un tiers pour cette main-d'œuvre.

Ce qui fait 14 mètres carrés par jour de charpentier.

Les madriers ont été passés à la bisaiguë, assemblés jointivement et posés bien de niveau sur les chapeaux et racinaux, avec chevillettes de fer à chaque bout et dans leur milieu. On les a ensuite tabletés, afin d'avoir une égalité d'épaisseur de joint dans la pose de l'assise en pierres de taille de la première retraite.

IX.

Transport.

Huit hommes attelés à un diable ont transporté communément, à la distance de 300 mètres, en une demi-heure, une pièce de bois cubant 71 à 82 centimètres, ce qui fait vingt-quatre voyages par jour de douze heures de travail.

Les huit hommes transportaient 19 mètres 68 cent. cubes dans leur journée.

On a remarqué qu'un tiers du temps était employé pour aller et venir, et que les deux autres tiers étaient employés à la charge et à la décharge.

X.

Remplissage des cases des racinaux et chapeaux, avec maçonnerie de moellon en pierre sèche, recouverte seulement d'une arrase de mortier de sable.

Chaque case a 3 mètres 89 cent. de longueur, 77 centimètres de largeur et 32 centimètres de profondeur.

L'expérience a été faite sur six cases, qui produisent, suivant les dimensions ci-dessus, un cube de 5 mètres 75 cent.

6

Il a été employé à faire cette maçonnerie :

Douze tiers de journée de maçon.

Six tiers de journée de manœuvre pour servir les maçons.

Seize tiers de jour de même ouvrier, pour transporter le mortier à la distance de deux relais.

Deux maçons servis par un manœuvre ont fait 2 mètres 87 cent. cubes de cette maçonnerie dans leur journée.

Le cube du mortier employé à faire une arrase sur cette maçonnerie est de 41 centimètres.

Les pierres ont été posées de champ et battues à la demoiselle ; on a eu le plus grand soin de bien caler les chapeaux et les racinaux avec des pierres posées à plat.

XI.

FONDATION D'UNE PILE.

Maçonnerie en pierre de taille et libages, garnie en moellons.

DÉSIGNATION de l'année.	DÉSIGNATION du mois.	Poseurs.	Contre-poseurs.	Maçons.	Manœuvres des maçons.	Transport du moellon.	Bardeurs.	Façons des mortiers.	Transport des mortiers.	CUBE de la maçonnerie.
		Première Retraite de 54 cent. de hauteur.								
	Octobre.									
1797.	9	1 2/3	3 1/3	1 1/3	1 (9 et 10)	0	4	2	0	
	10	3	6	1 2/3		0	4	2	1	
	11	3	6	4 1/3	2 1/6	0 2/3	4	2	3	
	12	3	6	5	2 1/2	0 2/3	1 2/3	2	3	
	13	2	4	4 1/6	2 1/12	0 2/3	4	1	1 1/2	
		12 2/3	25 1/3	16 1/2	7 3/4	2	17 2/3	9	8 1/2	

Matériaux entrés dans cette assise.

Pierre d'appareil..	m. 18,405
Libage pour remplir l'intervalle entre les deux assises de parement.............	8,260
Moellon pour caler et garnir..	3,260
Ciment..	6,306
Chaux éteinte...	3,701
Cette assise est composée de trente-trois pierres, dont les joints réunis sont de 1 mètre 82 millim.	
Le cube est de..	m. 39,932

DÉSIGNATION de l'année.	du mois.	Poseurs.	Contre-poseurs.	Maçons.	Manœuvres des maçons.	Transport du moellon.	Bardeurs.	Façon des mortiers.	Transport des mortiers.	CUBE de la maçonnerie.
		Deuxième Retraite de même hauteur.								
1797.	Octobre. 14	1	2	$0\frac{5}{6}$	$0\frac{1}{2}$	$0\frac{2}{3}$	4	$1\frac{1}{2}$	$0\frac{1}{2}$	
	15	3	6	5	$2\frac{1}{2}$	$0\frac{2}{3}$	4	3	$2\frac{2}{3}$	
	16	3	6	5	$2\frac{1}{2}$	0	4	3	$2\frac{1}{3}$	
	17	$1\frac{1}{2}$	3	1	$0\frac{1}{2}$	0	$1\frac{2}{3}$	$1\frac{1}{2}$	1	
		$8\frac{1}{2}$	17	$11\frac{5}{6}$	6	$1\frac{1}{3}$	$13\frac{2}{3}$	9	$6\frac{1}{2}$	

Matériaux entrés dans cette assise.

Pierre d'appareil..	m. 17,865
Libage..	5,196
Moellon..	2,536
Ciment..	3,837
Chaux éteinte..	2,879
Cette assise est composée de trente-huit pierres, dont les joints réunis sont de 1 mètre 15 millim.	
LE CUBE EST DE..	m. 32,313

DÉSIGNATION de l'année.	DÉSIGNATION du mois.	Poseurs.	Contre-poseurs.	Maçons.	Manœuvres des maçons.	Transport du moellon.	Bardeurs.	Façon des mortiers.	Transport des mortiers.	CUBE de la maçonnerie.
		Troisième Retraite de même hauteur.								
1797.	Octobre. 18	$1\frac{1}{2}$	3	$1\frac{2}{3}$	$0\frac{5}{6}$	1	$8\frac{1}{3}$	3	1	
	19	3	6	5	$2\frac{1}{2}$	3	8	6	3	
		$4\frac{1}{2}$	9	$6\frac{2}{3}$	$3\frac{1}{3}$	4	$16\frac{1}{3}$	9	4	

Matériaux entrés dans cette assise.

Pierre d'appareil..	m. 15,937
Libage..	2,090
Moellon..	1,473
Ciment..	3,152
Chaux éteinte..	1,576
Cette assise est composée de vingt-neuf pierres, dont les joints réunis sont de 1 mètre 15 millim.	
LE CUBE EST DE..	m. 24,228

XII.

Élévation du corps de la pile au-dessus des Retraites.

DÉSIGNATION de l'année.	DÉSIGNATION du mois.	Poseurs.	Contre-poseurs.	Maçons.	Manœuvres des maçons.	Transport du moellon.	Bardeurs.	Façon des mortiers.	Transport des mortiers.	CUBE de la maçonnerie.
		Première assise de 48 centimètres de hauteur.								
	Octobre									
	20	2	4	$3\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{3}$	0	0	0	0	
1797.	21	$1\frac{1}{3}$	$2\frac{2}{3}$	3	$1\frac{1}{2}$	0	0	0	0	
		$3\frac{1}{3}$	$6\frac{2}{3}$	$6\frac{1}{3}$	$2\frac{5}{6}$	0	0	0	0	

Matériaux entrés dans cette assise.

	m.
Pierre d'appareil..	11,044
Libage..	0,685
Moellon..	2,947
Ciment..	1,781
Chaux éteinte..	0,890

Cette assise est composée de vingt-trois pierres et trois parpaings; joints réunis, 919 millimètres.

Le Cube est de.. m. 17,347

Surface de l'assise............... m. q. 32,816

DÉSIGNATION de l'année.	DÉSIGNATION du mois.	Poseurs.	Contre-poseurs.	Maçons.	Manœuvres des maçons.	Transport du moellon.	Bardeurs.	Façon des mortiers.	Transport des mortiers.	CUBE de la maçonnerie
		Deuxième assise de même hauteur.								
	Octobre.									
	22	2	4	2 ½	1 ¼	0	0	0	0	
1797.	23	2	4	3	1 ½	0	0	0	0	
	24	0 ⅔	1 ⅓	1 ⅔	0 ⅚	0	0	0	0	
		4 ⅔	9 ⅓	7 ⅙	3 7/12	0	0	0	0	

Matériaux entrés dans cette assise.

Pierre d'appareil	11,015
Libage	1,022
Moellon	2,639
Ciment	1,781
Chaux éteinte	0,890

Cette assise est composée de seize pierres et deux parpaings; les joints réunis sont de 838 millimètres.

Le Cube est de .... 17,347.

DÉSIGNATION de l'année.	DÉSIGNATION du mois.	Poseurs.	Contre-poseurs.	Maçons.	Manœuvres des maçons.	Transport du moellon.	Bardeurs.	Façon des mortiers.	Transport des mortiers.	CUBE de la maçonnerie.
		Troisième assise de 408 millimètres de hauteur.								
	Octobre									
1797.	25	2	4	$2\frac{1}{4}$	2	0	0	0	0	
	26	2	4	$2\frac{1}{4}$	3	0	0	0	0	
		4	8	$4\frac{1}{2}$	5	0	0	0	0	

Matériaux entrés dans cette assise.

	m.
Pierre d'appareil..	9,871
Libage..	0,787
Moellon..	0,856
Ciment..	1,508
Chaux éteinte..	0,754

Cette assise est composée de vingt-deux pierres et un parpaing; joints réunis, 892 millimètres.

Le Cube est de.. m. 13,776

DÉSIGNATION de l'année.	DÉSIGNATION du mois.	Poseurs.	Contre-poseurs.	Maçons.	Manœuvres des maçons.	Transport du moellon.	Bardeurs.	Façon des mortiers.	Transport des mortiers.	CUBE de la maçonnerie.
1797.	Octobre. 27	*Quatrième assise de 362 millimètres de hauteur.*								
		4 ½	9	4 ½	2 ⅓	0	0	0	0	

Matériaux entrés dans cette assise.

Pierre d'appareil	m. 8,911
Libage	1,371
Moellon	0,822
Ciment	1,644
Chaux éteinte	0,822

Cette assise est composée de vingt pierres; joints réunis, 892 millimètres.

Le Cube est de .... m. 13,570

DÉSIGNATION de l'année.	du mois.	Poseurs.	Contre-poseurs.	Maçons.	Manœuvres des maçons.	Transport du Moellon.	Bardeurs.	Façon des mortiers.	Transport des mortiers.	CUBE de la maçonnerie.
		Cinquième assise de 362 millimètres de hauteur.								
1797.	Octobre. 28	5	10	5 $\frac{1}{3}$	2 $\frac{2}{3}$	0	0	0	0	

Matériaux entrés dans cette assise.

Pierre d'appareil..	8,988
Libage..	1,399
Moellon..	0,510
Ciment..	1,781
Chaux éteinte..	0,890

Cette assise est composée de vingt-quatre pierres; joints réunis, 892 millimètres.

Le Cube est de..	13,568

On voit que, dans la fondation d'une pile dont le cube est de 92 mètres 159 millim. de pierre de taille et libage, garnis en moellon et mortier de chaux et ciment, le libage entre pour un sixième, le moellon pour un treizième, le mortier pour un sixième environ, et la pierre de taille pour le reste du cube (1).

Il résulte de cette expérience qu'un poseur et deux contre-poseurs posent, dans une journée de dix heures, 3 mètres 55 cent. de cette maçonnerie, en prenant la pierre et le libage à 6 et 8 mètres de distance.

Que deux maçons servis par un manœuvre fichent et garnissent de cette maçonnerie 2 mètres 60 cent.; le libage étant mis en place par le poseur.

Qu'un manœuvre transporte, à pied d'œuvre, dans sa journée, 1 mètre cube de moellon à trois relais de distance.

Qu'un manœuvre transporte également, à pied d'œuvre, 1 mètre cube de mortier à 100 mètres de distance.

Que deux ficheurs fichent, dans leur journée, 20 mètres carrés de parement, et coulent dix-huit à vingt joints montans de 53 centimètres de hauteur.

Que huit hommes emploient une journée à éteindre 11 mètres 2 décim. cubes de chaux; six sont occupés à fournir l'eau avec un chapelet, et deux à jeter la chaux dans le bassin.

Que cinq hommes font, dans leur journée, 3 mètres 427 millimèt. cubes de mortier de chaux et ciment.

Qu'un chariot attelé de deux chevaux, quatre bardeurs et quatre manœuvres pour le bardage et débardage, chargent et déchargent

---

(1) Il est entré dans cette maçonnerie 13 mètres 295 millim. cubes de ciment, dont un quart à-peu-près tamisé, et 8 mètres 156 millim. de chaux éteinte = 21 mètres 451 millim., qui ont produit 17 mètres 137 millim. cubes, ce qui fait un cinquième de déchet, qui a lieu par l'insertion de la chaux dans les pores du ciment.

On observe que celui qui a été employé à l'expérience était de tuileau de Montereau, bien cuit et bien pur.

On observe encore que ce déchet doit varier suivant la cuisson du tuileau et la pureté du ciment.



513 millimètres à chaque voyage, et en font dix dans une journée, à 600 mètres de distance.

On voit également que les cinq assises en élévation de la pile au-dessus des retraites, cubent 72 mètres 470 millim., en ayant égard à la réduction des matières qui composent le mortier, comme on l'a fait pour les retraites.

Que le libage entre dans la maçonnerie pour un quatorzième, le moellon pour un dixième, le mortier pour un septième, et la pierre de taille pour le reste du cube.

Qu'un poseur et deux contre-poseurs posent par jour 3 mètres 40 cent.

Que deux maçons garnissent et fichent 2 mètres 50 cent. cubes de cette maçonnerie, ce qui diffère trop peu de l'expérience précédente pour ne pas prendre l'une ou l'autre pour proportion du travail que peuvent faire ces ouvriers.

XIII.

Coussinet des voûtes en pierre d'appareil faisant parpaings.

Le cube d'un coussinet élevé sur une pile est de 48 mètres 148 millim.

Un poseur et deux contre-poseurs ont mis douze jours à poser cette maçonnerie, ce qui fait 4 mètres cubes par jour de douze heures de travail.

La différence qu'on remarque entre cette pose et celle du parement des piles et culées, vient de ce que chaque morceau de pierre fait parpaing dans cette dernière maçonnerie, que les deux paremens se trouvent posés à la fois, et que la journée est de douze heures de travail.

Deux maçons, servis par un manœuvre, ont employé seize jours à garnir et ficher cette maçonnerie, ce qui fait 3 mètres cubes par jour.

Même cause que ci-dessus de la différence entre cette expérience et la précédente, par le travail des maçons.

XIV.

Coussinet élevé sur la demi-pile et la culée.

Le cube de cette maçonnerie en pierre d'appareil au-devant de la culée, et en libage plein dans le reste de son épaisseur, est de 222 mètres.

Un poseur et deux contre-poseurs ont employé quarante-un jours à poser cette maçonnerie, ce qui fait 5 mètres 40 cent. cubes par jour.

On remarquera que la journée était de douze heures de travail, et que le libage était de 34 à 40 centimètres cubes; au lieu que la journée n'était que de dix heures de travail, et que le libage était plus petit, dans l'expérience des fondations de la pile.

Deux maçons servis par un manœuvre ont employé soixante-dix-sept jours à garnir et ficher cette maçonnerie, ce qui fait 2 mètres 88 cent. cubes par jour. La différence peu considérable qu'on remarque entre le travail des maçons dans cet ouvrage, et celui de la pile dans l'expérience précédente, vient de ce qu'il y avait moins de joints montans à couler.

La flèche de l'arc des voûtes du pont de Nemours n'étant que le 17e de leur ouverture à-peu-près, on a cru devoir prendre toutes les précautions nécessaires pour assurer la solidité de ce pont.

Pour parvenir à ce but, on a pratiqué, dans la hauteur des culées, de longues harpes verticales qui prennent la hauteur de deux assises, de manière que la première est liée avec la seconde, la seconde avec la troisième, etc. jusqu'à la hauteur de l'extrados des voûtes.

Leurs coussinets élevés sur les piles, n'ayant à leur base que 2 mètres 273 millim. d'épaisseur, et 1 mètre 107 millim. à leur sommet, ils ont été construits avec des pierres formant parpaings, de manière qu'on a évité des joints verticaux dans le sens de la poussée, qui est presque horizontale dans les voûtes du pont de Nemours.

Les coussinets élevés sur les demi-piles sont maintenus dans leur position par des goujons de fer posés verticalement sur le derrière de chaque assise de parement, dans l'assise inférieure, à partir de celle au-dessous des naissances.

Ces goujons ont 216 millimètres de longueur et 54 millim. de gros-

seur ; ils ont 108 millim. de scellement, et autant de saillie, contre laquelle butteut les assises.

Tout le massif de la maçonnerie élevé sur les culées, leurs contre-forts et les murs d'épaulement au derrière et à la hauteur des coussinets des voûtes, est construit en libage choisi, essemillé et posé en décharge, afin que la poussée des voûtes soit répartie sur les murs d'épaulement des culées, en proportion de l'épaisseur de ces murs. Cette maçonnerie, qui est la seule résistance opposée à la poussée des voûtes, a été faite avec le plus grand soin; on a surtout évité les vides entre les libages, dont les irrégularités ont été garnies avec des éclats de pierre posés à bain de mortier.

Les pendantifs construits aux quatre angles formés par la ligne des têtes du pont, et le nu des murs d'épaulement dans le prolongement des culées, sont également appareillés en coupe, et partagent la poussée des voûtes entre les culées et leurs murs d'épaulement.

Outre toutes ces précautions, on a rempli le vide entre les contre-forts et le derrière des culées, sur une épaisseur de 3 mètres 50 centim., avec la terre grasse tirée de la caisse des bâtardeaux. Ces terres ont été bien battues par couches de 16 centimètres d'épaisseur, afin d'éviter que l'eau n'entoure la masse des culées, et ne diminue leur pesanteur spécifique.

Tous ces moyens, qui n'ont exigé qu'une attention suivie de la part de l'ingénieur chargé de la direction des travaux, ont eu le plus heureux succès.

Si l'on considère que les voûtes du pont de Nemours ont 16 mètres 241 millim. d'ouverture, et une flèche du 17ᵉ de cette ouverture seulement; que les culées n'ont que 5 mètres 34 millim. d'épaisseur, contrebutées par trois contre-forts de 4 mètres 872 millim. de longueur et 1 mètre 949 millim. d'épaisseur, on jugera qu'il était essentiel de lier les assises supérieures des culées opposées à la poussée horizontale des voûtes avec la maçonnerie inférieure.

Pour rendre cette maçonnerie inébranlable, il fallait qu'elle fût de libage, et qu'on pratiquât, comme on l'a fait, de longues harpes verticales d'une assise à l'autre, afin de ne former, pour ainsi dire, qu'une seule masse de la totalité de chaque culée.

Ces précautions, dont le devis ne fait point mention, et qui ont donné lieu à une augmentation de dépense assez forte, étaient d'autant plus nécessaires, que, d'après des expériences qu'on a faites à ce sujet, et les calculs qui en sont résultés, on a reconnu que les assises supérieures qui reçoivent immédiatement la poussée des voûtes, ne pouvaient la contrebuter par leur propre poids, et qu'elles étaient trois fois trop faibles pour remplir cette fonction. Il a donc fallu ne pas compter entièrement sur l'adhérence des mortiers pour suppléer à ce défaut de résistance.

On a également soumis au calcul la force des culées, et l'on a vu que la résistance était le double de la puissance : on n'a pas balancé à ne point augmenter leur épaisseur, en employant les moyens de lier leur masse avec celle des assises supérieures aux naissances des voûtes, les seules qui soient véritablement opposées à la poussée horizontale.

XV.

Construction des cintres en bois.

Il est entre dans les vingt-une fermes des cintres du pont de Nemours, 283 mètres 399 millim. cubes, dont 83 mètres 880 millimètres cubes étaient façonnés avant qu'on eût commencé à prendre des attachemens sur la construction des cintres; restent 199 mètres 519 millim. cubes soumis à l'expérience.

On a commencé cet ouvrage le 14 mars, et il a été fini le 11 mai suivant.

La totalité des journées de charpentier qu'on y a employées est de cent trente-quatre, ce qui fait 1 mètre 511 millim. par journée de charpentier.

XVI.

Levage des cintres. — Construction de l'échafaud pour le levage.

Il a été battu soixante-trois pilotis pour la construction de cet échafaud.

Ces pilotis avaient 5 mètres 197 millim. de longueur, et 21 à 24

centimètres de diamètre. Ils ont été battus sans être armés de sabot, et seulement aiguisés par le bout. On leur a donné 1 mètre 94 cent. à 2 mètres 27 cent. de fiche.

Le battage a été fait avec une sonnette à tiraude, montée d'un mouton du poids de 220 kilogrammes 27 gram., tiré par neuf hommes. La sonnette était dirigée par un charpentier ou enrimeur.

On a employé soixante-trois jours de manœuvre à cet ouvrage, ce qui fait une journée de manœuvre pour chaque pilotis, ou sept pilotis battus par journées de neuf manœuvres.

Le recepage a été fait en sept journées de charpentier, ce qui fait neuf recepages par jour.

La pose des chapeaux a été faite en vingt-un jours de charpentiers; chacun de ces ouvriers a donc fait trois tenons et trois mortaises.

Les chapeaux ont été assemblés à mi-bois; il y avait trois assemblages dans chaque cours de chapeaux, douze par arche, et trente-six pour les trois. Ces assemblages ont été faits en neuf journées de charpentier, ce qui fait quatre assemblages par journée de ces ouvriers (1).

XVII.

Levage des cintres.

Le cube des trois cintres est de 283 mètres 399 millim. On a employé cent quatre-vingt-douze journées de charpentier à lever les trois cintres, ce qui fait 1 mètre 475 millim. par journée de charpentier aidé de deux manœuvres.

Après avoir dressé les jambes de force, on n'a élevé qu'une ferme à la fois, et l'on a commencé par celle de la tête d'aval, après avoir tracé bien exactement, sur le pont de service, la ligne du milieu et de l'aplomb de chaque ferme, pour diriger les ouvriers dans le levage.

On a employé deux ateliers à chacune; ils ont commencé par poser les premiers arbalétriers d'en bas; et ils ont continué jusqu'à ce qu'ils fussent arrivés au milieu.

---

(1) Cette expérience se rapporte absolument à la cinquième et sixième. *Voyez* l'article *Plancher sur les cintres*, pour celui de cet échafaud.

Chaque atelier avait deux écoperches et un moulinet ; il était composé de deux charpentiers et de cinq manœuvres, dont quatre étaient employés à barrer à chaque moulinet, et le cinquième à retenir la retraite.

Dès qu'une ferme était levée, on la mettait sur ligne, c'est-à-dire, que l'on plombait le milieu, pour qu'il répondît parfaitement, dans toute la longueur, à la ligne tracée sur le plancher de l'échafaud : elle était maintenue dans cette position par des étais ou contrefiches placés de chaque côté, jusqu'à ce que les moises horizontales fussent posées, ainsi que les guettes ou contrefiches.

On ne parle point ici, ni dans les articles suivans, du transport des bois sur le tas. *Voyez* l'art. IX.

XVIII.

Pose des cales, couchis et étrésillons.

Les couchis, cales et étrésillons des trois cintres ont produit 110 mètres cubes ; il a été employé à leur pose cent quatre-vingt-six journées de charpentier, ce qui fait 60 centimètres cubes par journée de chacun de ces ouvriers.

Les cales avaient 48 centimètres de longueur ; 21 centimètres de hauteur ; les couchis, 18 à 21 centimètres d'équarrissage, et la cale du poseur, 5 et 8 centimètres de hauteur, les étrésillons, même hauteur que les cales.

Les cales portaient bien également sur les veaux ou courbes des fermes ; les couchis étaient bien assis sur les cales, et de manière que le milieu des uns et des autres répondît au milieu de chaque voussoir, dans la direction du rayon de l'arc.

Les cales et les couchis étaient maintenus dans leur position par des étrésillons qui avaient la longueur de l'intervalle d'un cours de couchis à l'autre.

XIX.

Planchers sur les cintres, pour la pose des voûtes.

Les trois planchers contenaient 617 mètres carrés. Il a été employé trente-neuf journées de charpentier et vingt-neuf de manœuvre à les établir sur les cintres, ce qui fait 16 mètres carrés par jour de charpentier, et trois quarts de jour de manœuvre.

Ces ouvriers prenaient leurs planches à 20 mètres de distance, pour les porter sur le tas.

XX.

CONSTRUCTION DES VOUTES.

Ouvriers et temps employés à cette construction.

INDICATION		JOURNÉES de POSEURS.	JOURNÉES de CONTRE-POSEURS.	CUBE des TROIS VOUTES.
de L'ANNÉE.	des MOIS dans lesquels les ouvrages ont été faits.			
1803.	Du 20 juillet au 19 août......	66 2/3	133 1/3	
	Du 29 août au 23 septembre inclus..................	50 2/3	100 2/3	
	Du 24 septembre au 23 octobre.	43 7/10	87 1/5	
	Du 24 octobre au 23 novembre.	21 5/6	43 2/3	
	TOTAUX.........	182 3/4	364 5/6	814m,643

On voit que le cube de la pierre de taille entré dans les trois voûtes est de 814 mètres 643 millim.; qu'il a été employé à la pose de cette pierre cent quatre-vingt-deux jours trois quarts de poseur, et trois cent soixante-quatre journées, cinq sixièmes de contre-poseur.

Un poseur et deux contre-poseurs ont donc posé par jour de douze heures de travail, 4 mètres 5 cent. cubes de cette maçonnerie.

Les voussoirs ont été conduits à pied d'œuvre par des bardeurs.

Les trois voûtes sont composées de trente-neuf cours de voussoirs chacune; les voussoirs des têtes, comme ceux de l'intérieur, sont d'un seul morceau: leur douelle a régulièrement 405 millimètres, et leur coupe 2 millimètres pour 32 centimètres.

L'extrados des voûtes étant dérasé de niveau, la largeur de la face des voussoirs, à leur sommet, varie nécessairement, suivant leur longueur; la coupe des clefs, par exemple, est le soixante-douzième de leur longueur; on voit qu'avec une si légère différence entre l'intrados et l'extrados, il a fallu un grand soin dans la taille des voussoirs et dans leur pose.

On sait par expérience que les voûtes tassent pendant et après leur décintrement, que leur tassement dépend de leur courbure, de l'appareil et du nombre de rangs de voussoirs qui les composent, de l'épaisseur des joints de lits, du soin qu'on apporte à la pose, de l'attention à caler et contre-caler, du fichage des joints et de la dessiccation du mortier.

Aucune de ces conditions ne peut être négligée dans la construction des voûtes, sans qu'il n'en puisse résulter les plus graves inconvéniens, auxquels il est bien rare qu'on puisse remédier quand ils sont arrivés.

Il est indispensable de prévenir les effets du tassement, qui dénaturent toujours la courbe des voûtes. Le moyen employé jusqu'à présent est un surhaussement dans la construction des cintres. Mais ce surhaussement ne peut précisément être déterminé par le calcul, et le parti le plus sûr est de l'évaluer d'après l'expérience acquise à ce sujet dans la construction des grands ponts projetés et dirigés par M. Perronet.

Celui des arches du pont de Nemours a été évalué à sept pouces dans le devis rédigé par l'ingénieur chargé de la direction des travaux. On verra, à l'article du *décintrement*, qu'il est impossible de rencontrer plus heureusement.

Les arches de ce pont sont construites, comme on l'a déjà dit, en arcs de cercle décrits avec un rayon de quatre-vingt-treize pieds, et dont la sous-tendante est de cinquante pieds.

L'épure des voûtes qui a servi pour la taille des voussoirs a été faite suivant cet arc, qui, ne pouvant être tracé au simbleau, à cause de la longueur du rayon, a été décrit sur une aire bien de niveau, par le moyen d'ordonnées et d'abscisses exactement calculées.

L'arc des cintres est décrit avec un rayon de quatre-vingts pieds un pouce six lignes, pour avoir un surhaussement de sept pouces; leur ételon a été fait en employant la méthode qui a servi à tracer l'épure des voûtes.

On voit qu'en surhaussant le cintre, on a eu un arc dont le développement était plus grand que celui de l'arc de l'épure, sur lequel les voussoirs ont été taillés; que cette différence a nécessairement porté sur l'épaisseur des joints de lits fixés à six lignes; il a donc fallu augmenter les joints dans la pose; mais l'expérience prouve que, pendant et après la construction des voûtes, il y a des joints qui s'ouvrent et d'autres qui se resserrent, par l'effet du tassement; il a donc fallu aussi, en serrant les joints qui devaient s'ouvrir, et en ouvrant ceux qui devaient se fermer, trouver le moyen de construire une courbe sans jarrets, suivant l'arc surhaussé, avec les voussoirs taillés suivant l'arc de l'épure : c'est à quoi l'on est parvenu.

On a commencé par faire l'épure en grand de la moitié d'une voûte, suivant l'arc décrit avec un rayon de quatre-vingt-treize pieds de longueur, et suivant lequel les voussoirs ont été taillés.

On a construit au-dessus une autre épure, suivant l'arc surhaussé, dont la flèche était de quatre pieds une ligne, au lieu de trois pieds cinq pouces une ligne, qui est celle de l'arc de l'épure, ce qui donne sept pouces de surhaussement.

Ce surhaussement a été distribué sur toute la longueur de la demi-voûte, de manière à être zéro aux naissances.

On conçoit que cette distribution a présenté de grandes difficultés, à cause de la différence de coupe des deux arcs et des conditions qu'on s'était imposées, pour obtenir un parallélisme dans les joints après le tassement des voûtes.

C'est enfin en présentant sur l'arc surhaussé le panneau des voussoirs, et en construisant la demi-voûte telle qu'elle devait être exécutée sur le cintre, qu'on est parvenu, par de nombreux tâtonnemens, à avoir en même temps une courbe sans jarrets et une loi régulière, pour l'épaisseur des joints, sans s'écarter des précautions à prendre pour ceux que le tassement devait ouvrir, et ceux qu'il devait resserrer (1).

On a relevé sur l'épure toutes les abscisses et les ordonnées de cette courbe, ainsi que les ouvertures de joints à l'intrados et à l'extrados, et l'on a formé la table, qui a servi de guide dans la pose.

Voyez, fig. 1re, une demi-voûte sur cintre.

Effets remarqués dans le cours de la construction des voûtes.

La pose du premier et du deuxième rang de voussoirs n'a rien présenté de remarquable; mais en posant le troisième, on s'est aperçu que l'ordonnée du second était diminuée; cette diminution provenait du tassement des arbalétriers et de la compression des cales. Comme elle devait avoir lieu sur les ordonnées des rangs suivans, on ne s'est point attaché à former un arc continu; on a posé suivant la table, en la corrigeant, néanmoins, chaque fois qu'il était nécessaire, ce qui était très-aisé et très-promptement fait. Il est résulté qu'au lieu d'un arc continu, on avait un arc en crémaillère, mais qui se rétablissait peu à peu comme il devait être, à mesure qu'on approchait de la clef.

On a remarqué qu'il fallait faire, de deux en deux rangs encore, les ressauts de crémaillère plus forts, parce que le tassement était complexe; chaque rang, outre son tassement particulier, en avait un autre proportionné à celui qui le précédait immédiatement. Cette loi très-sensible dans les premiers cours de voussoirs, a été en diminuant jusqu'au neuf vingt-quatrièmes environ des voûtes, où elle a passé du positif au négatif.

Après la pose des septièmes rangs, on s'est aperçu que les premier, deuxième et troisième joints de chaque côté des naissances commençaient à s'ouvrir à l'extrados; l'ouverture de ces joints était d'une demi-

(1) L'épaisseur des joints est généralement de six lignes.

ligne pour le premier, un tiers de ligne pour le second, et un sixième de ligne environ pour le troisième.

Cette ouverture a augmenté jusqu'à la pose des clefs; a cette époque, l'ouverture du joint des naissances était de trois lignes, et celle des joints suivans allait en décroissant jusqu'au cinquième cours de voussoirs, où elle était nulle.

Ces ouvertures de joints ont nécessairement apporté quelques petits changemens dans la table, qu'il était facile de corriger sur le tas, en comparant l'abscisse et l'ordonnée du dernier cours de voussoirs posé, avec celles portées dans cette table pour le même cours.

On a été complètement récompensé de la peine qu'on a eue pendant tout le cours de la pose, par la précision avec laquelle on est arrivé aux clefs.

Elles ont toutes absolument la même coupe que les autres voussoirs, et la place qui est restée pour leurs joints avec les contre-clefs, s'est trouvée exactement celle qu'on avait intention de donner avant la pose du premier cours de voussoirs.

C'est uniquement au tracé particulier de l'épure qu'on doit les heureux résultats auxquels on est arrivé.

Pendant et après leur décintrement, les voûtes n'ont pas éprouvé le plus petit accident.

Sur mille quatre cent quarante-neuf morceaux de pierres dont elles sont composées, pas un seul n'a eu la moindre épaufrure, ce qui vient de ce que toutes les cales ont été posées exactement à six pouces des arêtes des voussoirs, et sondées avec grand soin avant le fichage, afin de s'assurer qu'elles portaient toutes.

Le tassement a été en décroissant proportionnellement depuis les clefs jusqu'aux naissances. Le lendemain du décintrement des voûtes, il était de trois pouces six lignes à la clef de chaque arche; il a augmenté insensiblement jusqu'à sept pouces six lignes, et s'est arrêté.

On s'est assuré de son effet par une charge en pavé de grès de plus d'un million cinq cent mille livres, répartie sur les trois voûtes. Cette charge, d'un poids au-dessus de celui du couronnement, des têtes, des parapets, des trottoirs et de la chaussée, n'a produit aucune augmentation dans le tassement.

Pendant et après le décintrement, les joints des naissances se sont ouverts à l'extrados, et se sont fermés à l'intrados; l'ouverture et le resserrement ont eu lieu sur les trois premiers joints, d'une manière sensible. Le premier s'est ouvert de douze lignes, le deuxième de huit lignes, et le troisième de deux lignes. *Voyez* fig. 2ᵉ.

Le resserrement a été de cinq lignes pour le premier joint, de trois lignes pour le deuxième, et de deux lignes pour le troisième.

Les joints suivans se sont simplement un peu comprimés dans toute leur hauteur; ceux des clefs se sont fermés à l'extrados et ouverts à l'intrados, mais d'une manière bien moins sensible que ceux des naissances, parce qu'on avait eu la précaution de les contre-caler avec des cales en bois de chêne très-sec et très-dur.

La charge des reins en maçonnerie de moellon posé de champ dans le prolongement de la coupe des voussoirs, ne les a pas fait tasser particulièrement; le tassement qu'ils ont éprouvé a été subordonné à celui des clefs des voûtes, qui a été de trois lignes pendant cette opération.

On ne doit pas laisser passer une observation très-curieuse et très-importante; c'est qu'après le décintrement des voûtes, par l'affaissement des cintres, comme il sera expliqué plus loin, les joints des naissances, auxquels on avait donné deux lignes d'épaisseur à l'extrados, et douze à l'intrados, se sont ouverts, comme on l'a dit plus haut, de douze lignes à l'extrados, et fermés de cinq lignes à l'intrados. Cette ouverture avait lieu également dans toute la longueur du premier cours de voussoirs, d'une tête à l'autre du pont, de sorte qu'on voyait que les premiers cours de voussoirs ne portaient sur les coussinets que sur un pied de hauteur environ à l'intrados; tout le reste du joint au-dessus était à jour (1).

Cette observation indique particulièrement la direction de la poussée des voûtes, qu'il est indispensable de connaître pour en calculer les effets.

On a refiché les joints, après les avoir contre-calés avec des cales en

(1) Le mortier dont on avait fiché ce joint était adhérent aux coussinets des voûtes.

forme de coin, de quatre pouces de largeur, et d'un pied de longueur.

XXI.

Fichage et coulage des joints des voussoirs.

Les trois voûtes sont composées de mille quatre cent quarante-neuf voussoirs; la première, du côté de la ville, de quatre cent quatre-vingt-sept; la deuxième, de quatre cent quatre-vingt-neuf; la troisième, de quatre cent soixante-treize.

Le total des cours de voussoirs est de cent dix-sept, ce qui réduit, à raison des mille quatre cent quarante-neuf voussoirs, dont ils sont composés, chaque cours à douze voussoirs et onze joints verticaux.

JOINTS VERTICAUX.

Les cent dix-sept en produisent mille trois cent trente-deux, qui, à 3384 dix-millièmes d'épaisseur réduite, donnent	m. m. 4,567	
Hauteur réduite des joints................	1,191	
SUPERFICIE................	m. m. 5,367	m. m. 5,367

JOINTS DE LIT.

Chaque cours de voussoirs a 12 mètres 66874 millim. de longueur, les cent dix-sept ensemble donnent celle de..................................	1482,242	
Hauteur réduite d'extrados............	1,191	
SUPERFICIE.....	m. m. 1765,350	1765,350
TOTAL de la superficie des joints verticaux et de lit.....		m. q. 1770,717

Cette superficie a été fichée, en y employant cent cinquante-cinq journées de maçon, ce qui fait 22 mètres 848 millim. carrés par journée de deux maçons, servis par un manœuvre.

Avant d'employer le mortier pour le fichage et coulage, on a eu soin d'y mêler de la chaux vive en poudre; la dose était de deux truellées dans une augée de mortier de chaux et ciment, dont la grandeur était le double des auges à plâtre ordinaires.

Cette chaux vive, employée au moment du fichage, a le double avantage de hâter la dessiccation du mortier, et de pousser, comme fait le plâtre, en augmentant de volume par son extinction.

Le cube du mortier entré dans le fichage et coulage des trois arches est de 55 mètres 14 millim., dont un vingtième de chaux vive. Le cube des voussoirs des trois voûtes étant de 814 mètres 643 millim., celui du mortier est environ le quinzième.

Le fichage des joints de lit, surtout, est de la plus grande importance dans la construction des voûtes : il pourrait arriver de la négligence qu'on y apporterait de graves inconvéniens, dont les moindres seraient de casser les voussoirs ou de les épaufrer. On jugera aisément que, dans le cas où un joint de lit serait mal fiché, c'est-à-dire, qu'il ne fût pas plein, qu'une cale ou une contre-cale fût en même temps mal placée ou dérangée, le voussoir se trouverait pressé inégalement, et casserait inévitablement.

Cette main-d'œuvre exige de bons ouvriers, et des surveillans sur qui on puisse compter pour les conduire.

XXII.

REMPLISSAGE DES REINS DES VOUTES EN MAÇONNERIE DE MOELLON AVEC MORTIER DE CHAUX ET SABLE.

Ouvriers et temps employés à cet ouvrage; matériaux qui y sont entrés (1).

JOURNÉES DE Maçons.	JOURNÉES DE Manœuvres à les servir.	JOURNÉES de Manœuvres à faire le mortier.	CUBE de la Chaux.	CUBE du Sable.	CUBE du Mortier.	CUBE de la Maçonnerie
130	65	131	m. 34,104	m. 68,208	m. 76,734	m. 274,355

On voit que le cube de cette maçonnerie est de 274 mètres 353 millim.; que le mortier de chaux et sable y entre pour les trois septièmes; que le temps employé à le faire est de cent trente-une journées de manœuvres; qu'il a fallu cent trente journées de maçons et soixante-cinq journées de manœuvres employés à les servir, pour construire cette maçonnerie.

Il résulte de cette expérience que deux maçons, servis par un

(1) L'expérience prouve que 36 pieds cubes de grève et 72 pieds cubes de chaux éteinte ne produisent que 80 pieds cubes de mortier, ce qui fait un peu plus du quart de déchet, qui a lieu par l'insertion de la chaux dans les pores de la grève. Cette insertion est nécessairement proportionnée à la grosseur et à la porosité de la grève; son état de siccité au moment de fabriquer le mortier y influe aussi beaucoup. Comme les mortiers forment une dépense considérable dans l'exécution des travaux, le meilleur moyen d'éviter les réclamations des entrepreneurs est d'avoir recours à l'expérience avant de rédiger l'estimatif d'une grande construction.

manœuvre, ont fait 4 mètres 22 cent. cubes de cet ouvrage par jour de douze heures de travail.

Qu'un manœuvre bien surveillé a fait dans une journée de même nombre d'heures, 1 mètre 472 millim. cubes de mortier de chaux et sable, tiercé de chaux médiocrement liquide, et dans lequel on ne mettait point d'eau.

Le moellon employé était plat, et en général d'une grosseur moyenne.

Il a été posé de champ, et dans le prolongement de coupe de chaque rang de voussoirs. On a également eu l'attention de bien couper les joints montans et ceux de lit, en faisant chaque arrase.

XXIII.

DÉCINTREMENT DES VOUTES.

Echafaudage pour le décintrement.

Les pilotis qui avaient été battus et recouverts de chapeaux pour le levage des cintres, ayant été conservés, on n'a eu qu'à faire le plancher des trois arches, dont la superficie était de 791 mètres 405 millim. carrés.

Il a été employé à cet ouvrage :

Journées de charpentier............................	13
de manœuvres à les aider....................	19
Total des journées..............	32

On voit que deux charpentiers, aidés de trois manœuvres, ont fait 120 mètres carrés de cet échafaudage par jour.

On observe que les planches qui avaient servi à faire l'échafaud pour la pose des voûtes, avaient été mises en dépôt sur le pont de service, et qu'on n'a eu qu'à les descendre et les mettre en place.

XXIV.

Décintrement des trois voûtes à la fois.

Le moyen indiqué par M. Perronet (1), pour décintrer les ponts, n'a pu être employé à Nemours, à cause du grand surbaissement des voûtes, dont le poids est d'environ 5,000,000 de livres. Ce poids portant presqu'en totalité sur les cintres, on avait prévu qu'il serait très-difficile et très-long d'enlever les couchis, sans opérer un affaissement général et uniforme dans tout leur système. On avait senti en même temps le danger d'opérer cet affaissement d'une manière subite, qui aurait produit une force vive, dont l'action se serait portée entièrement sur la partie des culées opposée à la poussée des voûtes.

Cette force effrayante, si l'on pense au poids des arches, en occasionant une rupture dans la liaison de la première assise des coussinets des voûtes, avec l'assise inférieure, aurait produit un glissement des coussinets sur le plan de cette assise, dont serait nécessairement résultée la chute des trois arches (2).

On a fait de la manière suivante le décintrement, qui a parfaitement réussi.

Manière dont on a décintré le pont de Nemours, en ruinant les abouts des arbalétriers près de leur assemblage dans les jambes de force.

Après avoir enlevé les guettes, les moises horizontales, et desserré seulement les écrous des boulons, on a fait un premier trait de scie bc, fig. 3[e], dans la partie supérieure des abouts des arbalétriers, à 16 cen-

(1) *Voyez*, dans ses Œuvres, l'article *Décintrement*, dans le devis du pont de Neuilly.

(2) On n'a pu enlever que deux rangs de couchis vers les naissances des voûtes; pour enlever les autres, il aurait fallu hacher les cales à coups d'ébauchoir, ce qui aurait été très-long et dangereux.

timètres de leur assemblage avec les jambes de force. Ce trait de scie a été fait en même temps à tous les premiers rangs d'arbalêtriers des trois cintres, jusqu'à ce que la compression du bois ait empêché la scie d'avancer. On a fait un même trait de scie aux deuxièmes rangs d'arbalêtriers; on n'a point touché aux troisièmes rangs.

Après cette opération, on a fait avec des ébauchoirs une première entaille *abcd*, à tous les abouts des premiers rangs, et à tous ceux des seconds rangs.

Enfin, on a donné un second trait de scie *ef*, aux premiers rangs d'arbalêtriers, successivement aux seconds, et l'on a terminé l'entaille *abcd*; de manière qu'ils n'ont plus été soutenus que par 5 centimètres d'épaisseur de bois. *Voyez* la 3e fig.

Au bout de quatre heures, le poids des voûtes a fait fléchir les arbalêtriers à leur entaille, comme on le voit fig. 4e.

Au bout de huit heures, l'inflexion a augmenté, comme on le voit par la fig. 5e.

Enfin, au bout de douze heures, tout le système des cintres s'est trouvé affaissé sous le poids des voûtes, dont le tassement s'est fait avec une égalité parfaite aux trois arches; alors les abouts des arbalêtriers avaient fléchi, comme on le voit fig. 6e, et l'on a enlevé avec la plus grande facilité les cales et les couchis.

XXV.

ENLÈVEMENT DES CALES ET COUCHIS, ET DES FERMES DES CINTRES.

Ouvriers employés à cette main-d'œuvre.

DÉSIGNATION des OUVRAGES.	CHARPENTIERS.	MANŒUVRES pour les servir.	MANŒUVRES employés au transport des bois au chantier.	CHEVAUX employés au transport des bois au chantier.
Enlèvement des cales et couchis...	45	118	16	0
Enlèvement des fermes des cintres.	40	104	124	40
TOTAUX........	85	222	140	40

Le cube des bois ci-dessus désignés était de 393 mètres 397 millim.; 5 charpentiers, aidés de 7 manœuvres, ont démoli 23 mètres 141 millim. cubes par jour. Ils ont employé 17 jours à enlever les boulons des cintres, et à démolir les cales, couchis, guettes ou contre-fiches, moises pendantes et horizontales, ainsi que les arbalétriers dont les cintres étaient composés.

Ces ouvriers mettaient les bois en dépôt sur le pont de service et aux abords du pont, de 15 à 20 mètres de distance.

Le transport de ces bois a été fait à 500 mètres de distance. Les grosses pièces ont été transportées par des chevaux attelés à un chariot, et les pièces de petit échantillon par des manœuvres attelés à un diable.

La journée de manœuvre était payée 1 franc 50 centimes et la journée de cheval 5 francs; le mètre cube est revenu à 0 francs 97 centimes.

XXVI.

Couronnement des têtes du pont de 915 millimètres de queue et 634 millimètres de hauteur.

Le cube de la maçonnerie en pierre de taille, du couronnement des têtes du pont, est de 84 mètres 646 millim., et le mortier de ciment pour le fichage de 2 mètres 462 millim.

Il a été employé à la pose trente-une journées et demie de poseur et soixante-trois de contre-poseur, neuf et demie de maçon et neuf et demie de manœuvre.

On voit que le mortier entre dans cette maçonnerie pour un quarante-deuxième du cube de la pierre de taille.

Qu'un poseur et deux contre-poseurs ont posé dans leur journée 2 mètres 687 millim. cubes.

Qu'un ficheur, aidé de son manœuvre, a fiché et garni dans sa journée 8 mètres 91 cent. cubes.

On observe que les joints montans de la saillie du couronnement, formant moulures, ont été passés au couteau par le poseur, de manière que tous les joints sont insensibles, et que le couronnement ne présente qu'une seule assise.

On a eu soin de démaigrir les joints sur le derrière, dans toute la partie de la pierre, sur l'extrados des voûtes, afin de les ficher et de les garnir.

XXVII.

Assise courante des trottoirs de 64 centimètres de hauteur et 48 centimètres de queue.

Le cube de cette maçonnerie est de 34 mètres 927 millimètres; celui du mortier de ciment pour le fichage est de 4 mètres 415 millimètres.

Il a été employé à la pose vingt-trois journées de poseur, vingt-trois de contre-poseur, vingt de maçon, et autant de manœuvre.

On voit que le mortier entre dans cette maçonnerie pour un huitième du cube de la pierre de taille.

Qu'un poseur et un contre-poseur ont posé 1 mètre 521 millimètres cubes par jour ; qu'un maçon et un manœuvre ont fiché et garni dans le même temps 1 mètre 75 centimètres cubes de cette maçonnerie.

Cette assise a 24 centimètres de largeur au niveau du pavé ; tout le reste de sa queue est refouillé sur 189 millimètres de hauteur, pour recevoir le pavé.

Toute la partie vue, et qui forme assise courante le long du pavé, est posée pierre à pierre, de manière que les joints montans ne sont point apparens ; ils ont été passés au couteau par le poseur.

XXVIII.

Pavage des trottoirs.

La superficie de ce pavé, de 16 à 18 centimètres d'échantillon, est de 168 mètres 116 millimètres carrés ; il est posé sur un lit de mortier de ciment, et bien garni dans ses joints avec le même mortier.

Deux paveurs, servis par chacun un manœuvre, ont fait cet ouvrage en douze journées et un quart ; ils ont fait chacun 6 mètres 861 millim. carrés par jour.

Le mortier employé est de 14 mètres 474 millim. cubes ; il en est entré par mètre carré 861 millimètres.

Le lit de mortier de chaux et ciment, sur lequel est posé ce pavé, porte immédiatement sur la maçonnerie en moellon, qui remplit l'intervalle entre l'assise courante des trottoirs et les parapets ; par ce moyen, le pavé et la maçonnerie forment un corps impénétrable à l'eau pluviale, qui d'ailleurs est portée, par une pente de 27 centimètres, des parapets vers le ruisseau de la chaussée du pont.

XXIX.

Parapets.

Le cube de cette maçonnerie est de 62 mètres 457 millimètres ; celui du mortier employé au fichage et coulage des joints, est de 2 mètres 927 millim.

Il a été employé à la pose trente-cinq journées et demie de poseur et autant de contre-poseur.

On voit que le mortier entre dans cette maçonnerie pour un vingt-unième.

Qu'un poseur et un contre-poseur ont posé 1 mètre 759 millimètres par jour,

Les bahuts sont joints à leurs bouts par un tenon demi-circulaire de 81 centimètres de longueur. Ce tenon est pratiqué au-dessous de l'assise, sur les deux tiers de sa hauteur, afin que le joint au-dessus soit fait carrément sur le tiers restant.

On a passé au couteau, avec du grès en poudre, tous les joints montans, tant des bahuts que de l'assise du dessous, de sorte qu'ils sont pierre à pierre et peu sensibles.

On a eu l'attention de démaigrir ces joints à 81 centimètres de chaque parement, afin de pouvoir les couler avec du mortier de ciment tamisé,

Quant à ceux des bahuts, on a pratiqué un trou de 9 à 11 millimètres dans le milieu du joint carré, au-dessus du tenon, afin de pouvoir aussi les couler, en faisant un godet autour de ce trou avec du mortier ferme.

Chaque morceau de bahut porte un tenon d'un bout et une mortaise de l'autre.

On n'a pas craint de serrer les joints montans quand on a posé le couronnement des têtes du pont et les parapets ; la précaution qu'on a prise de charger les voûtes d'un poids au-dessus de celui de cette maçonnerie et de la chaussée, sans qu'il en soit résulté une augmentation de tassement, a dû rassurer l'ingénieur à cet égard ; mais il doit faire observer qu'il y aurait beaucoup d'imprudence à faire des joints pierre à

pierre, dans la pose des couronnemens et des parapets des ponts, et à charger les voûtes d'un poids aussi considérable avant que le tassement soit entièrement effectué.

On conçoit aisément qu'en prenant même la précaution de surhausser les couronnemens et les parapets, en raison du tassement qui devrait résulter de leur poids, il y aurait toujours des épaufrures dans la partie supérieure des joints montans; il est donc essentiel de charger les voûtes d'un poids égal à celui des couronnemens, des parapets et de la chaussée, avant de faire ces ouvrages.

XXX.

Chappe de 0m,1082 d'épaisseur en mortier de chaux et ciment sur l'extrados des voûtes.

Le cube du ciment employé est de...................	m. 47,112
Celui de la chaux éteinte est de.....................	23,556
Cube...................	m. 70,668
Déchet, un cinquième.........	14,133
Cube effectif...............	m. 56,535
Cailloux, un vingtième de la chaux et du ciment......	3,833
Cube employé................	m. 60,368

On a employé vingt-cinq journées de maçon et autant de journées de manœuvre à faire cette chappe.

Un maçon, servi par un manœuvre, employait donc 2 mètres 414 millim. cubes de mortier par jour.

Cette chappe a été faite en deux couches, la première de 0m,812 d'épaisseur, et la deuxième de 0m,271.

La première couche a été répandue et arrasée, sans être passée à la truelle ni être battue. La seconde, au contraire, a été posée et arrasée, en faisant traîner dessus une règle suivant la pente de 135 millimètres, par 1 mètre 948 millim., ensuite elle a été passée à la truelle, jusqu'à ce

que le mortier fût assez ressuyé pour pouvoir être battu avec de petites battes faites exprès pour cette opération. A mesure qu'il se faisait des gerçures sur la chappe, les batteurs frappaient avec le revers de leur battes, à 16 centim. de chaque côté de la gerçure, en venant vers les bords; et lorsque ceux-ci étaient bien rapprochés, ils réunissaient les balèvres en les frappant du plat de leurs battes.

On n'a cessé de battre que lorsqu'il n'a paru aucune gerçure, et que le mortier s'est trouvé bien sec.

Il a été employé soixante-douze journées de batteurs, ce qui fait deux journées et un cinquième de journée de ces ouvriers, pour 1 mètre cube de mortier.

XXII.

Rejointoiement des voûtes.

Avant de refaire les joints, on enlevait soigneusement le mortier du fichage, sur environ 812 millimètres de profondeur, dans toute la longueur des joints. On mouillait ensuite l'ancien mortier, et on garnissait le vide qui avait été fait sur la profondeur ci-dessus, avec du mortier de ciment tamisé.

A mesure que le mortier se ressuyait, on le foulait dans les joints, en ajoutant ce qui était nécessaire pour les bien remplir. On ne cessait de les bien fouler et de les garnir que lorsqu'on s'était assuré qu'ils étaient bien pleins. Enfin, aussitôt qu'il commençait à se faire des gerçures à la superficie, on les frottait avec un instrument en forme de serpette, dont le dos avait leur épaisseur.

Cette opération était continuée jusqu'à ce qu'ils fussent noirs et luisans. Pour cet effet, on passait dessus, à deux ou trois fois, un pinceau imbibé d'huile.

Un maçon, servi par un manœuvre, a jointoyé, en dix jours et demi, 222 mètres 928 millim. de longueur, sur 812 millimètres de profondeur, et 135 millimètres d'épaisseur. Il jointoyait 21 mètres 231 millim. par jour.

Le cube du mortier entré dans les 222 mètres 928 millim. de longueur, est de 9586 dix-millièmes de mètre cube, ce qui fait 43 centimètres cubes par mètre de longueur.

XXXII.

Pavage de la chaussée du pont, en pavé de grès, de 216 à 243 millimètres d'échantillon.

Six paveurs, servis par six manœuvres, pour leur approcher les matériaux, ont fait 582 mètres 722 millim. carrés en trente-neuf journées de travail; chaque paveur a fait par jour 14 mètres 941 millim. carrés.

Ce pavé a été posé sur une forme de grève de 2435 dix-millimètres, bombée de 189 millimètres dans son milieu; la grève était passée à la claie et bien purgée de cailloux, sans aucun mélange de terre, et sèche.

Les pavés, après avoir été retaillés et essémillés, quand ils en ont eu besoin, ont été posés par rangées droites et d'équerre à l'axe du pont, en liaison de la moitié ou environ de leur parement, exactement joints en bout et en rive entr'eux, bien garnis de sable dessous et au pourtour, affermis à coups de marteau, et ensuite battus au refus d'une bie du poids de 24 kilogrammes 450 gram., fretée par le bout, pour être, lesdits pavés, assnrés sur leur forme, et le bombement bien réglé. Il a été étendu sur toute la longueur et la largeur de la chaussée une aire de sable de 135 millimètres d'épaisseur.

XXXIII.

CONSTRUCTION D'UN AQUEDUC.

Socle en pierre de taille, formant parpaing, de 65 centimètres d'épaisseur, 48 centimètres de hauteur.

Un posenr et un contre-poseur ont posé 69 mètres cubes de cette maçonnerie en vingt-trois journées de douze heures de travail, ce qui fait 3 mètres cubes par jour.

Le cube du mortier de ciment employé dans cette maçonnerie est de 8 mètres 50 centim. Il est donc entré dans la proportion d'un huitième (1).

(1) Dans la maçonnerie de pierre de taille en élévation des piles, le mortier est entré pour un septième; mais il y avait le joint de derrière à ficher.

Un maçon, aidé d'un manœuvre, a garni et fiché cette maçonnerie en vingt-huit jours, ce qui réduit leur travail à 2 mètres 35 cent. cubes par journée.

XXXIV.

Piédroits.

Maçonnerie en moellon avec mortier de chaux et sable, élevée sur l'assise ci-dessus.

Un cube de 177 mètres 931 millim. de cette maçonnerie a été fait en soixante-dix-neuf journées de maçon, et trente-neuf et demie de manœuvre; deux maçons, servis par un manœuvre, faisaient par jour 4 mètres 50 cent. cubes.

Cette expérience se rapporte à celle du remplissage des reins des voûtes, fait en maçonnerie; mais elle a exigé plus de soin pour la pose du moellon.

Le cube du mortier employé est de 75 mètres 803 millim., ce qui donne la proportion des trois septièmes du cube total de la maçonnerie.

Même rapport pour le mortier, avec le remplissage des reins des voûtes, qui a été fait du moellon tiré de la même carrière.

XXXV.

Voûte en plein cintre, de 81 centimètres d'ouverture, construite en moellon essémillé, de 40 centimètres de longueur, autant de hauteur, et de 16 à 20 centimètres d'épaisseur.

Un cube de 111 mètres 16 cent. de cette maçonnerie, a été fait en soixante-sept journées de maçons. Deux de ces ouvriers faisaient par jour 3 mètres 32 cent.; ils étaient servis par deux manœuvres, occupés l'un à donner du mortier, et l'autre du moellon.

Lorsque les maçons travaillent sur un échafaud, le transport des matériaux devient plus difficile et plus long; il faut dans ce cas augmenter le nombre de leurs manœuvres, qui ne peut guère être moins de deux pour trois maçons.

Le mortier entré dans cette maçonnerie est de 22 mètres 20 cent. cubes, ce qui fait un cinquième de la maçonnerie.

XXXVI.

Cintre en bois pour la construction de cette voûte.

Chaque ferme était composée d'un entrait et d'une courbe ; elle était portée par deux jambes de force ou poteaux.

On a fait quinze fermes qui ont servi à la construction entière de l'aqueduc.

Elles étaient espacées de 1 mètre 95 cent. de milieu en milieu, recouvertes de couchis jointifs et tabletés, suivant la courbe du cintre.

Après avoir fait poser les quinze fermes et les couchis, on a construit la voûte sur la moitié de la longueur qu'ils occupaient.

On a aussitôt décintré cette partie, pour reposer les sept fermes à la suite des huit qui restaient en place ; de manière qu'avec ces quinze fermes et leurs couchis, on a construit une voûte d'aqueduc de 78 mètres de longueur.

On a employé dix journées de charpentier pour construire les quinze fermes, les lever et les couvrir de couchis, qui ont été tabletés sur les tas, suivant la courbe du cintre.

Un charpentier a façonné et posé 658 millimètres cubes dans sa journée.

XXXVII.

Chappe en ciment, de 0^m,182 *d'épaisseur.*

Le cube de mortier de chaux et ciment entré dans cette chappe

est de..	$\overset{m}{1}$1,036
Un douzième de cailloux........................	0,919
CUBE TOTAL....................	$\overset{m}{1}$1,955

Il a été employé neuf journées de maçon à faire cette chappe. Un maçon, servi par un manœuvre, employait 1 mètre 33 cent. de mortier par jour.

Après avoir répandu le mortier sur l'épaisseur de 81 centimètres, il

l'arrasait bien de niveau avec la truelle, qu'il passait dessus, jusqu'à ce qu'il fût assez dur pour être battu avec de petites battes, comme on l'a expliqué pour la chappe des voûtes du pont.

On n'a cessé de battre que lorsqu'il n'a paru aucune gerçure, et que le mortier a été bien sec. On a employé vingt-quatre journées de manœuvre à cet ouvrage.

On voit que le battage de chaque mètre est revenu à deux journées de manœuvre; la différence d'un cinquième de journée qu'il y a entre le battage du mètre cube de la chappe du pont, et celui du mètre cube de celle-ci, vient du plus d'épaisseur de cette dernière.

XXXVIII.

Pavage du fond de l'aqueduc avec mortier de ciment sur une forme de 16 centimètres d'épaisseur de sable.

60 mètres 779 millim. carrés de pavage ont employé 1 mètre 645 millim. cubes de mortier, ce qui fait 27 centimètres cubes par mètre carré.

Un paveur, servi par un manœuvre, a fait cet ouvrage en huit jours; il a fait 7 mètres 59 cent. carrés par jour.

XXXIX.

Mur de terrasse.

Le mur de terrasse avait 1 mètre 95 d'épaisseur à sa base, avec talus de 27 cent. pour 32 cent., les deux paremens, faits l'un en libage ébauché et l'autre en petit libage brut, ont été mis en place par un poseur et deux contre-poseurs.

L'intérieur étant garni de gros moellon, ledit mur cubant 177 mètres 60 cent. a employé pour la pose des paremens en libage quatre-vingt-seize journées de poseur, aidé de deux contre-poseurs, ce qui fait 1 mètre 85 cent. cubes par jour. Ils prenaient le libage à 10 mètres de distance.

Un maçon faisait également par jour 1 mètre 95 cent. de maçonnerie en gros moellon, pour garnir l'intérieur de ce mur.

Le mortier de chaux et sable qui entre dans cette maçonnerie fait les deux septièmes du cube.

XL.

Mur construit en libage de 54 centimètres d'épaisseur.

Un poseur et un contre-poseur ont employé cinq journées à poser 22 mètres cubes de cette maçonnerie, ce qui fait par jour 4 mètres 4 décim. cubes. Deux maçons, servis par un manœuvre, ont fiché et garni les 22 mètres en quatre journées et demie; ils fichaient et garnissaient par jour 4 mètres 88 cent. cubes.

Le cube du mortier de chaux et sable employé dans cette maçonnerie est de 2 mètres 20 cent.; il est entré dans le cube total pour un dixième.

XLI.

TAILLE DE PIERRE D'APPAREIL A LA TÂCHE.

Pierre de Chateau-Landon.

Parement simple.

Un tailleur de pierre pique et boucharde dans une journée de douze heures de travail, un parement sans lits ni joints, de 1 mètre 6237 de longueur, et 487 millim. de hauteur. La pierre est dure et pèse 188 livres et demie le pied cube; elle est de la nature du marbre, et souffre le poli comme lui.

Le même ouvrier fait dans sa journée $0^m,422804$ carrés, avec lits et joints.

Taille des voussoirs.

En comptant une demi-taille pour les lits ou joints de coupe, et les joints montans, c'est-à-dire, en toisant les deux lits pour un, au prix de la taille de la douelle, un tailleur de pierre fait dans sa journée $0^m,632707$.

Couronnement des têtes du pont.

Le couronnement est composé d'un plinthe et d'un filet dessous, d'une cymaise et second filet dessous; son développement est de 1 mètre 5875; le dessus forme rejet d'eau de $0^m,0271$ de pente; sa hauteur est de $0^m,6360$, et sa saillie de $0^m,4330$.

Un tailleur de pierre fait dans sa journée $0^m,2435$ de longueur de couronnement, avec lits et joints.

Assise courante de trottoirs.

Le même ouvrier taille dans sa journée un morceau de pierre de $0^m,9742$ de longueur, et $0^m,487$ de hauteur, et autant de queue, ayant un parement de 0^m2165 en devant, et un autre de $0^m,2435$ dessus; il fait en sus un refouillement pour recevoir le pavé du trottoir de $0^m,2435$ de largeur, et $0^m,1624$ de profondeur.

PIERRE DES CARRIÈRES DE BAGNEUX.

Voussoir.

En toisant comme il est expliqué ci-dessus pour la pierre de Château-landon, un tailleur de pierre pique et boucharde dans sa journée 1 mètre carré 5817 de pierre de Bagneux.

On observe que la pierre pour cet ouvrage, comme pour les suivans, était ébauchée à $0^m,0271$ du parement à tailler. Le mètre cube avait coûté 10 francs environ d'ébauchage.

Couronnement.

Un tailleur de pierre pique et boucharde dans sa journée $0^m,433$ de longueur de couronnement, de mêmes dimensions que ci-dessus.

Parapets.

Le même ouvrier taille au marteau, dans sa journée, un morceau de pierre formant parpaing, de 1 mètre 9484 de longueur, de $0^m,433$ d'épaisseur, et $0^m,4059$ de hauteur.

Il fait moitié plus quand il taille une assise de bahuts de mêmes dimensions, quoiqu'elle ait trois paremens, et que celui du dessus soit bombé de $0^m,0135$.

Il met un tiers de jour à faire un tenon et une mortaise au bout des morceaux de bahut, pour les joindre suivant les dimensions spécifiées article XXIX.

EXPÉRIENCES

Sur le produit des machines à épuiser, employées à la construction du pont de Nemours.

Pour connaître le produit d'un chapelet, il faut observer le nombre de tours que la chaîne fait dans une heure, multiplier ce nombre par la longueur de la chaîne, afin d'avoir celle de la colonne d'eau élevée; cette dernière quantité étant multipliée par la surface du corps de pompe ou d'une rondelle, donnera la solidité de la colonne d'eau, dont il faudra retrancher l'espace occupé par la chaîne. Cet espace se détermine en pesant la chaîne dans l'air et dans l'eau; la différence de ces deux pesées est le poids d'un volume d'eau égal à celui de la chaîne; et comme on connaît la pesanteur spécifique de l'eau dans laquelle se fait l'expérience, on en conclut facilement le volume de la chaîne.

Le produit d'une pompe se détermine plus aisément; il suffit de compter le nombre des levées de pistons dans une heure, de multiplier la surface du cercle du piston par le nombre des ascensions du piston, et par leur hauteur.

C'est d'après ces deux principes qu'on a calculé les expériences suivantes.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

Sur un chapelet anglais.

Huit hommes manœuvrant un chapelet anglais, font faire à la chaîne deux cent seize tours en une heure. La chaîne a 38 pieds de longueur; l'eau dégorge à la hauteur de 10 pieds 75. On élève donc dans une heure une colonne d'eau de 216×38 pieds, ou de 8208 pieds de lon-

gueur. La circonférence des rondelles ou de la colonne = 17 pouces 10 lignes, ce qui donne un rayon de 2 pouces 838, et une surface de 25 pouces 305. La solidité de la colonne élevée dans une heure est par conséquent de 2492441 pouces 280 cubes, d'où il faut retrancher la solidité de la chaîne pour avoir celle de la colonne réellement élevée. Or, la chaîne dégarnie de ses cuirs pèse dans l'air 187 livres 625, et dans l'eau 161 livres 5; elle déplace donc un volume d'eau pesant 26 liv. 125 c'est-à-dire, de 651 pouces cubes 87 (l'eau de la rivière de Loing, qui a servi à l'expérience, pèse 69 livres 25 le pied cube); le volume occupé par les dix-neuf garnitures de cuir = 234 pouces 46. Donc la solidité de la chaîne et rondelles=886 pouc. 33 qui, multipliés par deux cent seize, nombre des tours de chaîne faits dans une heure, donne 191447 pouc. 28. Cette dernière quantité retranchée de 2492441 pouc. 280, laisse pour la colonne réellement élevée dans une heure 2300994 pouces. Celle élevée dans vingt-quatre heures est de 55223856 pouces ou de 31958 pieds cubes, à la hauteur de 10 pieds 75.

Il résulte de cette expérience que huit hommes élèvent dans une seconde, à la hauteur de 10 pieds 75, un poids de 25 livres 615 ou qu'un homme élève 25 livres 615 à la hauteur de 1 pieds 344, ou enfin 25 livres à la hauteur de 1 pied 376.

IIe EXPÉRIENCE.

Sur un chapelet ordinaire.

La chaîne d'un chapelet ordinaire, tel que ceux dont on s'est servi à la construction du pont de Louis XVI, à Paris, fait cent quatre-vingts tours dans une heure. Ce chapelet, manœuvré par huit hommes, élève l'eau à la hauteur de 12 pieds. La chaîne a 37 pieds 6 pouces de longueur; elle porte neuf clapets et neuf patenôtes; elle pèse, sans ses cuirs, dans l'air, 94 livres 5, et dans l'eau, 81 livres 84; sa solidité est par conséquent de 315 pouces cubes 9. La circonférence des rondelles ou de la colonne d'eau est de 18 pouces; son diamètre de 5 pouc. 729, et sa surface de 25 pouces 776. Un tour de chaîne élève donc une colonne d'eau de 25 pouces 776. 37 pieds 6 pouces = 25 pouc. 776, × 450 pouces = 11599 pouces 2, d'où il faut retrancher la

solidité de la chaîne = 315 pouces 9, et celle des cuirs = 146 pouces 511342, pour avoir la colonne réellement élevée dans un tour de chaîne, laquelle est de 11136 pouces cubes 8. Celle élevée dans une heure = 11136 pouces 8, × 180 = 2004624 pouces ; celle élevée dans vingt-quatre heures = 48110976 pouces ou 27842 pieds cubes, à la hauteur de 12 pieds.

Il résulte de cette expérience que huit hommes élèvent dans une seconde, à la hauteur de 12 pieds, un poids de 22 livres 28, ou qu'un homme élève 22 livres 28 à la hauteur de 1 pied 5, ou enfin 25 livres à la hauteur de 1 pied 337.

On voit que le produit du premier chapelet est à celui du second comme 138 est à 134.

III[e] EXPÉRIENCE.

Sur un petit chapelet ordinaire.

La chaîne d'un chapelet ordinaire, tel que ceux en usage dans les travaux pour les réparations du canal de Loing, fait trois cent vingt-quatre tours dans une heure. Ce chapelet, manœuvré par six hommes, élève l'eau à la hauteur de 9 pieds 8 pouces. La chaîne a 26 pieds 6 pouces de longueur ; elle porte sept clapets et sept patenôtes. Elle pèse, dans l'air, sans ses cuirs, 49 livres 11, et dans l'eau 42 livres 77; par conséquent son volume est de 158 pouces cubes 2. Le diamètre des rondelles ou de la colonne d'eau est de 5 pouces 6 lignes, sa surface de 23 pouces 7190; la solidité de la colonne élevée dans un tour de chaîne = 23 pouc. 7190, × 26 pieds 6 = 23 pouc. 7190 × 318 pouc. = 7542 pouc. 642, dont il faut retrancher la solidité de la chaîne de 158 pouces 2, et celle des cuirs de 114 pouces 3621334 (le trou intérieur de chaque garniture de cuir a 1 pouce de largeur et 16 lignes de longueur; l'épaisseur de la garniture est de 8 lignes). Il reste donc 7270 pouces 082 pour la colonne réellement élevée dans un tour de chaîne. Celle élevée dans une heure = 7270 pouces 082 × 324 = 2355506 pouces 568; celle élevée dans vingt-quatre heures = 56556157 pouces 632 ou 32729 pieds cubes, à la hauteur de 9 pieds 8 pouces.

Il résulte de cette expérience, que six hommes élèvent en une seconde,

à la hauteur de 9 pieds 8 pouces, un poids de 26 livres 23, ou qu'un homme élève 26 livres 23 à la hauteur de 1 pied 611, ou enfin 25 livres à la hauteur de 1 pied 69.

On voit que les produits des chapelets des trois expériences sont entr'eux comme les nombres 138, 134, 169. Le dernier chapelet paraît devoir être plus avantageux que les deux premiers, que l'on peut considérer comme donnant le même produit. Si l'on considère cependant que dans le cours d'une campagne le chapelet anglais n'est sujet à aucune réparation qui en arrête la marche, tandis que les chaînes cassent très-fréquemment aux autres chapelets, on ne balancera pas à lui donner la préférence. D'ailleurs, on peut encore remarquer que, si son produit est inférieur à celui du chapelet de la troisième expérience, cela vient du trop grand volume de sa chaîne, qui occupe le treizième du corps de pompe, tandis que celle du petit chapelet n'en occupe que le vingt-huitième, et celle du chapelet de la deuxième expérience le vingt-cinquième. On peut diminuer de beaucoup le volume de la chaîne du chapelet anglais sans nuire à sa solidité, soit en supprimant quelques clapets, soit en forçant moins les garnitures de cuirs, qui occupent à elles seules plus du tiers du volume de la chaîne. On pourrait encore, sans retrancher de clapets, diminuer un peu les dimensions de chaque pièce de la chaîne. Au moyen de ces légères corrections, on rendrait le chapelet anglais préférable, à tous égards, aux autres chapelets, sur lesquels il a déjà tant d'avantage.

On doit remarquer qu'en évaluant la force des hommes dans les expériences précédentes, on n'a point eu égard aux résistances occasionées par les frottemens, qui absorbent une partie sensible de cette force.

IVe EXPÉRIENCE.

Sur une pompe de 10 pouces de diamètre.

Sept hommes travaillant sur une pompe de 10 pouces de diamètre, lèvent mille sept cent fois dans une heure le piston à la hauteur de 8 pouces. La colonne élevée dans ce temps a donc 13600 pouces de longueur; et sa surface étant de 78 pouces 5398, sa solidité est de 1068141 pouces 28. Celle élevée dans vingt-quatre heures est de

2563539o pouces 72, ou de 14835 pieds cubes. L'eau dégorge à la hauteur de 10 pieds 75. Le poids de la colonne élevée, dans une heure, est de 42873 livres 15. Le piston pèse 28 livres, et sa verge 28 livres, en tout 56 livres. Cette quantité multipliée par mille sept cents, nombre des ascensions du piston dans une heure, donne un poids de 95200 livres, et comme ce poids n'est élevé qu'à 8 pouces, en le supposant élevé comme l'eau, à la hauteur de 10 pieds 75, il se réduit à 5844 livres 83. L'ajoutant au poids de la colonne, on aura pour celui élevé dans une heure 48717 livres 98, et pour celui élevé dans une seconde 13 livres 5328. Il suit de là que sept hommes élèvent 13 livres 5328 dans une seconde, à la hauteur de 10 pieds 75, ou qu'un homme élève 25 livres à la hauteur de o pied 8313.

On voit que le travail d'un homme à cette pompe est à celui d'un homme employé au chapelet anglais, comme 83 : 138.

Si l'on n'a égard qu'au poids utile élevé, qui est celui de la colonne d'eau, abstraction faite de la pesanteur du piston, on trouvera que sept hommes enlèvent, dans une seconde, 11 livres 8682 à la hauteur de 10 pieds 75, ou qu'un homme enlève 25 livres à la hauteur de o pied 729. Donc le produit de cette pompe est à celui du chapelet anglais, comme 73 : 138, ou à-peu-près comme 1 : 2.

Dans cette expérience, comme dans toutes les autres, on fait abstraction du frottement du piston contre la paroi intérieure du corps de pompe, et des obstacles que l'eau éprouve dans son mouvement.

Ve EXPÉRIENCE.

Sur une pompe de 9 pouces de diamètre.

Sept hommes travaillant sur une pompe de 9 pouces de diamètre, lèvent 1940 fois, dans une heure, le piston, à la hauteur de 8 pouces. La colonne élevée dans ce temps a donc 15520 pouces de longueur; sa surface est de 63 pouces 61724, et sa solidité de 987339 pouces 5648 cubes; la colonne élevée dans vingt-quatre heures est de 23696149 pouces 5552, ou de 13713 pieds cubes.

L'eau dégorge à la hauteur de 11 pieds. Le poids de la colonne élevée dans une heure est de 39493 livres 5826. Le piston pèse 19 livres, et sa verge 32, en tout 51 livres. Cette quantité multipliée par 1940,

nombre des ascensions du piston dans une heure, donne 98940 livres; et comme ce poids n'est élevé qu'à 8 pouces, en le supposant élevé à la hauteur de 11 pieds, il se réduit à 5900 livres 36. L'ajoutant au poids de la colonne, on aura pour le poids élevé, dans une heure, à la hauteur de 11 pieds, 45483 livres 9426, et pour celui élevé dans une seconde 12 livres 6344. Il suit de là que sept hommes élèvent, dans une seconde, 12 livres 6344 à la hauteur de 11 pieds, ou qu'un homme élève 25 livres à la hauteur de 0 pied 794. Donc le travail de l'homme employé à cette pompe est au travail de l'homme employé à la pompe précédente comme 794 : 831.

Si l'on n'a égard qu'au poids utile enlevé, qui est celui de la colonne d'eau, on trouvera que sept hommes enlèvent, dans une seconde, un poids de 10 livres 970 à la hauteur de 11 pieds, ou qu'un homme enlève 25 livres à la hauteur de 0 pied 689.

On voit que le produit de cette pompe est à celui de la précédente comme 689 : 729.

Il y a donc de l'avantage à se servir d'une pompe d'un grand diamètre. La raison en est sensible : les colonnes d'eau enlevées suivent le rapport du carré des diamètres des pistons, tandis que le frottement du piston est à-peu-près le même dans une grande et dans une petite pompe, ce frottement étant presque indépendant de la grandeur des surfaces frottantes.

Si l'on considère que le produit du chapelet est à-peu-près double de celui de la pompe, on pourrait croire qu'il faut réduire à quatre les sept hommes employés à la pompe ; mais comme on s'est assuré par un grand nombre d'expériences que la grandeur et le nombre des ascensions du piston étaient assez bien proportionnés à la force des manœuvres, il faut nécessairement que le frottement du piston et la contraction que l'eau éprouve dans ses différens passages absorbent une très-grande partie de la force motrice. L'inégalité entre le poids du piston et celui du balancier contribue aussi à augmenter cet effet.

On remarquera encore que le mouvement du balancier de la pompe favorise mieux la paresse des manœuvres que le mouvement de rotation de la manivelle d'un chapelet, puisque très-souvent ils se contentent d'imprimer de petites secousses au balancier, et qu'à moins

d'être exactement surveillés, ils se dispensent de monter le piston au plus haut de sa course, tandis que dans le travail de la manivelle, lorsqu'une des branches est au point le plus haut, les manœuvres sentent le besoin de tourner promptement, pour sortir de la position pénible où leur corps serait obligé de se tenir.

Cette cause contribue beaucoup à rendre le produit du chapelet supérieur à celui de la pompe.

En supposant, d'après ce qui précède, qu'une pompe tire dans vingt-quatre heures 13000 pieds cubes,

	p. c.
Six pompes puiseront..........................	78000
Neuf chapelets à 30000 pieds cubes l'un............	270000
Une vis, par aperçu............................	30000
TOTAL..................	378000 p. c.

Les seize machines employées habituellement aux épuisemens tiraient, en vingt-quatre heures, 378000 pieds cubes ou 47250 muids.

En faisant mouvoir vingt-une machines (sept pompes, treize chapelets, une vis), leur produit s'élèverait, en vingt-quatre heures, à 411000 pieds cubes ou à 51375 muids.

Comme seize machines étaient le plus habituellement employées, et que les ouvriers travaillent plus fort pendant l'heure où l'on compte le nombre des tours de chaînes ou des levées du piston qui sert à l'expérience; comme d'ailleurs les calculs précédens ne supposent aucune interruption, on estime qu'on doit porter à 40000 muids la quantité moyenne d'eau épuisée en vingt-quatre heures.

Remarques sur la roue à godets employée sur la rivière du Loing, pour la fondation du pont de Nemours.

On se propose dans ces remarques de connaître le produit de la roue à godets, et de déterminer la mesure du choc de l'eau contre les aubes. Le premier objet se trouve rempli par le jaugeage d'un godet observé, dans les différens mouvemens de la roue, sur une mire graduée, placée dans l'un d'eux. Quant au second, il faut connaître la vitesse de l'eau

dans le coursier, eu égard à la différence de niveau occasionée par le rétrécissement du lit de la rivière.

Pour cet effet, on a placé dans le coursier un moulinet de bois blanc de 27 pouces de diamètre, dont le poids total n'excédait pas 8 onces. Les tourillons de ce moulinet, formés de deux pointes d'aiguilles, reposaient sur deux plaques de cuivre percées d'un petit trou. Les palettes, au nombre de huit, étaient retenues entre elles par un fil de laiton très-fin. Le moindre souffle donnait le mouvement à cette machine; elle portait sur un support arrêté contre une pièce de bois placée au-dessus du coursier.

La différence de niveau étant de 8 pouces 4 lignes, et les ailettes trempant de 2 pouces, le moulinet faisait 115 tours en 3 minutes; ainsi la circonférence moyenne décrite est de 6 pieds 5448, et par conséquent la vitesse de l'eau est de 4 pieds 1814 par seconde. Or, la vitesse due à la hauteur du remou est de 6 pieds 4553. Si l'on admet, d'après les expériences reçues, que la contraction diminue cette vitesse dans le rapport de cinq à huit, on trouvera 4 pieds 0345 pour la vitesse, dans la théorie ordinaire. Cette vitesse est plus petite que la véritable de 0 pied 1469, ou d'un quarantième à-peu-près. Nous prendrons donc, dans les expériences qui vont suivre, les cinq huitièmes de la vitesse due à la hauteur du remou, pour la véritable vitesse de l'eau dans le coursier. Dans la première expérience, l'arbre portait sur ses deux tourillons de 3 pouces 3 lignes de diamètre, et sur une chantignole de fer placée vers son milieu. L'arbre arrondi dans cette partie formait une circonférence de 25 pouces de diamètre, garnie de lames de fer de 3 pouces de large. Dans les cinq dernières expériences, le tourillon, vers la roue à godets, était supprimé; l'arbre tournait sur son manchon même, au moyen d'une frette de 27 pouces de diamètre, retenue dans une chantignole de fer placée contre les embrasures de la roue à godets. Par un calcul exact du poids des différentes parties de la machine, qu'on a fait peser avant le levage, on a déterminé dans les deux cas les centres de gravité de chaque partie située entre les trois points d'appui, et par conséquent la pression sur ces points. Cette pression se trouve augmentée par le poids de l'eau dans neuf godets, qu'on a supposé, par un résultat moyen, de 27 pieds cubes, et par le

choc contre les aubes, supposé seulement capable de faire équilibre au poids de l'eau dans six godets, abstraction faite du frottement. Ce choc, dont la direction est horizontale, se compose, avec les pressions des points d'appui, pour former deux résultantes qu'on a déterminées. Le rapport du frottement à la pression du fer contre le cuivre a été fait de 0,15, et du fer contre le fer égal à 0,2.

Si ces rapports, tirés du mémoire de M. Coulomb, n'étaient pas rigoureusement applicables au cas présent, comme les bras de levier du frottement sont petits par rapport à ceux de la puissance ; comme d'ailleurs la surface choquée est très-grande, de légères variations dans les frottemens n'apporteraient aucune différence sensible dans la détermination du choc.

Quoique le puisard ne soit pas indéfini, la résistance qu'il fait au mouvement du godet a été mesurée seulement par le poids du prisme d'eau, qui a pour base la face antérieure du godet, et pour hauteur celle due à la vitesse de son centre.

On remarquera que les aubes trempaient de plus de la moitié du rayon, ce qui est extrêmement désavantageux, surtout quand la roue fait plus de trois tours par minute; car les aubes étant inclinées au rayon, lorsqu'elles entrent dans l'eau, elles sont presque parallèles à sa surface, et leur vitesse se décomposant en deux autres, l'une parallèle au cours de l'eau, l'autre qui lui est perpendiculaire, en vertu de cette dernière, les aubes sont repoussées par l'eau, et ce n'est qu'au-delà d'un certain angle que cet effet cesse de nuire d'une manière sensible au mouvement de la machine.

On n'a point eu égard à cette circonstance dans le calcul, où, comme l'on voit, on n'a pas favorisé la puissance. Enfin, quoique les expériences ne soient pas directes pour déterminer la valeur du choc, on croit pouvoir assurer que, dans les grandes roues à coursier placées sur des rivières, le choc n'est jamais inférieur au poids du prisme d'eau, qui a pour base la partie choquée de l'aube, et pour hauteur le double de celle due à la vitesse respective. Si même la roue trempe peu, comme du quart ou du tiers de son rayon, on peut, sans erreur, multiplier la surface choquée par le triple de la hauteur due à la vitesse respective, surtout quand la roue va lentement.

On joint à ces observations le tableau des calculs qui leur servent d'appui, et les données nécessaires pour les vérifier.

	pds.	po.	l.
Rayon de la roue à aubes........................	8	0	0
Largeur des aubes................................	11	5	6
Rayon de la roue à godets........................	11	0	0

Les seize godets sont disposés autour de la roue, et leur centre se trouve éloigné de l'axe de............. pds. 11,802

La face antérieure d'un godet est de.... 2,229

La distance du centre de cette surface à l'axe est de... 11,486

Le poids total de toute la machine, compris le fer et le bois, est de................................ liv. 27339

Le poids du côté des aubes, entre le tourillon et la chantignole.................................. 12592

Le centre de gravité de ce poids est distant du bout de l'arbre de.................................... pds. 9,13

Le poids du côté des godets, entre la chantignole et l'autre tourillon, est de......................... liv. 14747

Le centre de gravité de ce poids est distant de l'autre extrémité de l'arbre de........................... pds. 10,3

L'arbre a 39 pieds de longueur et 19 pouces d'équarrissage.

Si l'on a égard au poids de l'eau dans les godets, et à l'impulsion contre les aubes, la résultante des pressions sera :

	liv.
Contre le tourillon de la roue à aubes.............	6684
Contre la chantignole..........................	14840
Contre le tourillon de la roue à godets............	7796

Quand le tourillon de la roue à godets est remplacé par le manchon, tournant dans une chantignole placée à son extrémité, la pression est :

	liv.
Contre le tourillon de la roue à aubes.......... ...	6627
Contre la chantignole du milieu..................	10769
Contre la chantignole placée à l'extrémité..........	9943

Si, dans ce dernier cas, on a égard au poids de l'eau dans les godets et à l'impulsion contre les aubes, la résultante des pressions est :

	liv.
Contre le tourillon de la roue à aubes..............	6784
Contre la chantignole du milieu..................	11428
Contre la chantignole du bout....................	11218

	pds.	po.	l.	pt.
La capacité totale d'un godet, non compris celle du vide de l'ouverture, est de......................	4	4	4	7

Capacité pour différentes hauteurs d'eau au-dessus du fond.

Hauteur au-dessus du fond.	Capacité. pds.	po.	l.	pt.
15 pouces............................	2	10	0	10
16..................................	3	0	4	7
17..................................	3	2	9	6
18..................................	3	5	3	3
19..................................	3	8	0	8

La 11ᵉ colonne est le produit de la surface choquée par son bras de levier et par la hauteur simple due à la vitesse respective; en divisant par cette dernière quantité les momens des résistances formés par l'addition des nombres correspondans, placés dans les 15ᵉ, 16ᵉ et 17ᵉ colonnes, on obtient pour quotient la 18ᵉ, qui renferme les nombres par lesquels on doit multiplier la hauteur due à la vitesse respective, pour avoir la véritable valeur du choc. Ces nombres s'appellent *co-efficient de la percussion.*

En multipliant les nombres des 15ᵉ, 16ᵉ et 17ᵉ colonnes par le nombre de tours que la roue fait dans une minute, on pourra connaître, par la comparaison des produits, les plus grands effets de la roue, et le rapport de la vitesse de l'eau à celle de l'aube, qui a produit chacun de ces effets. Ces produits, dans l'ordre des expériences, sont comme les nombres 654, 629, 731, 485, 753, 504. Les rapports des vitesses du courant à celles de l'aube sont dans le même ordre, les nombres 2,765, 2,797, 2,969, 3,472, 2,992, 3,916. Ainsi, le cas le plus favorable est celui de la cinquième expérience : alors la vitesse du centre de l'aube

est le tiers de celle du courant. La troisième expérience donne le même résultat. La première et la deuxième sont moins avantageuses, quoique la vitesse de l'aube soit plus grande que le tiers de celle du courant. Enfin, les cas les plus défavorables sont ceux de la quatrième et de la sixième, où les vitesses de l'aube sont presque le quart de celles du courant.

Il suit de cette comparaison, que, pour le plus grand effet de la machine, la vitesse de l'aube doit être le tiers de celle de l'eau. Ce rapport a été indiqué par plusieurs auteurs, entre autres par Bélidor. Il diffère un peu de celui donné depuis, qu'on sait être de 2 à 5. Ce dernier est fondé sur des expériences directes, mais faites bien en petit.

On croit devoir observer qu'en employant un seul arbre dans une machine pareille à celle-ci, il est indispensable, à moins d'avoir un courant surabondant, d'employer un autre moyen pour le soutenir dans son milieu, puisque le frottement qui en résulte absorbe presque le tiers de la force motrice, ainsi qu'on le voit par la comparaison de la quinzième et de la seizième colonne, dans la première expérience, où l'arbre portait sur la chantignole et sur ses deux tourillons.

On remarquera encore que, dans la première expérience, le godet trempe à peine de son épaisseur, l'air s'évacue facilement, et l'on ne suppose que six godets en charge, à partir de celui situé au bas de la verticale exclusivement, les deux situés vers le haut étant contre-balancés pas ceux qui se vident de l'autre côté de la verticale. Les vannes trempent dans l'eau, par conséquent la contraction a lieu sur les quatre faces du pertuis.

Dans la deuxième, les mêmes circonstances ont lieu, à l'exception de la vanne du milieu, qui est entièrement levée.

La troisième se rapporte en tout à la première.

Dans la quatrième, l'air occasione un peu de résistance : c'est pourquoi l'on ne compte que cinq godets en charge, deux vers le haut de la roue, faisant contre-poids à ceux qui se vident, et les deux autres étant presque dans le puisard. On pense que le co-efficient de la percussion fourni par cette expérience n'est pas trop grand, quoiqu'il soit égal à 3,35.

Dans la cinquième, on compte six godets en charge, comme dans la

première ; les vannes sont hors de l'eau , l'air s'évacue assez bien , mais la roue frotte un peu contre le radier, et l'extrémité de l'arbre porte dans l'entaille ronde du chapeau , en sorte que le tourillon ne porte presque rien.

Cette circonstance, qu'on a négligée, fait croire que le co-efficient de la percussion n'est pas au-dessus du véritable.

Dans la sixième expérience , on compte également la charge de six godets ; l'air s'évacue très-bien, le godet ne trempe que de son épaisseur, et les vannes sont très-enfoncées sous l'eau. Ainsi , on peut compter sur le résultat qui donne , pour le co-efficient du choc, un nombre plutôt au-dessous qu'au-dessus dn véritable.

Le résultat moyen des observations donne 2 pieds 907 , pour le cube de l'eau contenue dans chaque godet, et 3,65 pour le nombre de tours que la roue fait dans une minute. Ainsi la quantité d'eau élevée dans une minute est de 169 pieds cubes 7688 , et en vingt-quatre heures 244467 pieds cubes 072, ou 30558 muids.

Machine à godets.

HAUTEUR du REMOU.		VITESSE due à la hauteur du remous.	CUBE DE L'EAU dans CHAQUE GODET.	POIDS DE L'EAU. dans LES GODETS en charge.	MOMENT des POIDS.	MOMENT de la résistance DU PUISARD contre LE GODET.	MOMENS des résistances des FROTTEMENS.	CO-EFFICIENT de LA PERCUSSION.
po. 29	l. 0	pds. 12,08495	pds. 2,839	liv. 1192,38	liv. 10893,58	liv. 805,55	liv. 3386,94	2,05
21	0	10,28220	3,032	1273,44	11634,15	577,05	4941,60	3,13
29	0	12,08324	3,232	1257,44	1148,79	774,93	4941,60	1,99
15	9	8,80695	3,232	1284,85	12938,44	303,76	4941,60	3,35
22	9	10,68831	3,439	1444,38	13195,85	686,63	4941,60	2,52
24	0	18,99146	3,232	1257,44	11487,97	384,55	4941,60	1,86

SECONDE PARTIE.

EXPÉRIENCES SUR LA STABILITÉ DES VOUTES.

Depuis le commencement du dernier siècle jusqu'à nos jours, on a publié différens écrits sur la poussée et l'équilibre des voûtes. Les Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris contiennent les recherches les plus intéressantes qu'on ait faites sur cette matière. Les premiers auteurs qui s'en soient occupés se sont bornés à déterminer la figure de l'extrados des voûtes circulaires pour le cas de l'équilibre, et les épaisseurs des piédroits, ou culées nécessaires pour résister à la poussée. A mesure que l'analyse s'est perfectionnée, on a envisagé la question sous un point de vue plus général. Le dernier mémoire de M. Bossut semble avoir épuisé la matière en traitant tout ce qui est relatif à la figure, à la poussée d'une voûte pressée par des forces quelconques.

M. Prony, dans son architecture hydraulique, et dans un manuscrit que nous avons lu à l'École des Ponts-et-Chaussées, a encore ajouté aux recherches de ceux qui l'ont précédé. Mais, il faut l'avouer, tous ces écrits reposent sur une hypothèse qui n'est pas confirmée par l'expérience, en sorte qu'ils doivent être relégués parmi les recherches de pure spéculation, très-curieuses à la vérité, mais sans aucune utilité pour la pratique.

En effet, tous ces auteurs supposent que les voûtes sont composées de voussoirs parfaitement polis, sans aucun frottement, et qui glisseraient sur leurs joints si les forces qui sollicitent le système ne se détruisaient pas mutuellement : d'où il suit que dans les voûtes en berceau, le profil doit s'élargir à mesure que les voussoirs approchent de la ligne horizontale, et qu'ils doivent être infinis aux naissances; tel est le résultat auquel les conduit leur théorie, que l'expérience dément journellement. Pour trouver les épaisseurs des piédroits, ces auteurs admettent que

la partie supérieure de la voûte glisse d'un seul morceau sur les joints de rupture, et tend à pousser, comme un coin, la partie inférieure, sans considérer que s'il en était ainsi, la partie supérieure, au lieu d'agir toujours pour renverser les culées, serait retenue dans un grand nombre de cas par la force du frottement sur son point d'appui, et tendrait à affermir les culées sur leur base, loin de les renverser. A la vérité, plusieurs de ces auteurs ont reconnu l'inexactitude de leurs hypothèses; entre autres M. Prony, qui a démontré qu'en ayant égard au frottement, les formules se trouvent dégagées de toute expression infinie; et Couplet, de l'Académie des Sciences, qui, dans la seconde partie d'un Mémoire imprimé sur les voûtes, a considéré les voussoirs comme des corps rudes, et déterminé l'épaisseur uniforme d'une voûte demi-circulaire et en arc, et la résistance des piédroits. L'hypothèse de Couplet est conforme aux résultats de l'expérience quant à la manière dont les voussoirs sont retenus les uns à côté des autres, mais non quant à la rupture des voûtes, qu'il suppose toujours avoir lieu au sommet et au milieu des reins : ainsi les formules qu'il a données doivent encore être rejetées.

Cet exposé très-rapide de ce qu'on a écrit sur la statique des voûtes fait voir combien nos connaissances sont peu avancées sur cette partie; loin de connaître les conditions nécessaires à l'équilibre d'une suite de voussoirs, nous n'avons pas même de formule qui renferme l'expression exacte de la poussée contre les piédroits, et la question si importante de l'épaisseur des culées, d'une utilité si journalière, est restée jusqu'à présent sans solution.

Les fonctions dont j'ai été chargé à Nemours pour la construction du nouveau pont, les doutes que quelques membres très-instruits de l'assemblée des Ponts-et-Chaussées ont paru avoir sur la solidité d'un ouvrage projeté par Perronnet, que j'étais chargé d'exécuter avec les changemens que j'avais proposés et que l'assemblée avait approuvés, m'imposaient le devoir de rechercher les moyens nécessaires pour en assurer le succès. C'est dans cette vue que j'ai entrepris les expériences qui font le sujet du présent Mémoire. Je désire qu'elles puissent servir à fonder une théorie expérimentale de l'équilibre et de la poussée des voûtes. Mes occupations ne m'ont pas permis de me livrer

aux applications utiles et curieuses auxquelles elles peuvent donner lieu. Je me contenterai d'en indiquer plusieurs, et je me bornerai au problême le plus utile, celui qui consiste à déterminer l'épaisseur à donner aux culées des ponts.

Préparation aux expériences.

Les voûtes dont il va être question étaient composées de voussoirs formés chacun par l'assemblage de deux briques polies au grès sur une de leurs faces, et jointes par leur autre face avec un coulis de plâtre.

Pour rendre ces voussoirs égaux, on se servait d'un moule de bois entaillé suivant la coupe de chaque voussoir. Après avoir poli les briques on en plaçait deux dans le moule, en appliquant la face polie contre la coupe du moule; l'intervalle entre les deux faces brutes, qui n'excédait jamais l'épaisseur d'une lame de couteau, était rempli par un coulis de plâtre. Au moyen de cet appareil très-simple, on variait facilement la forme des voûtes; on retaillait la coupe du moule, on formait de nouveaux voussoirs avec ceux de la voûte mise précédemment en expérience, en détachant avec le ciseau les deux briques dont chacun était composé.

Les voussoirs étaient posés sur deux cintres de planches espacés de six pouces, et se touchaient par leurs faces sans interposition de mortier. Les deux cintres taillés d'après une épure, et placés parallèlement, faisaient partie d'une surface cylindrique droite; mais comme la moindre irrégularité dans leur position était rendue sensible par l'égalité parfaite des voussoirs, et qu'il fallait arriver juste pour fermer la voûte, alors on formait sur cintre le dernier voussoir, en remplissant avec deux briques l'intervalle de la clef, et en les réunissant avec du plâtre de la même manière que les autres.

Afin que ces expériences puissent être appliquées utilement à la construction des grandes arches, les voûtes sur lesquelles on a opéré avaient constamment 8 pieds d'ouverture, 4 pouces de longueur de coupe et 8 pouces d'nne tête à l'autre. On voit qu'elles étaient extradossées, et que la hauteur de la coupe de la clef était le vingt-quatrième

de l'ouverture de l'arche, suivant la proportion établie par Perronnet dans son *Mémoire sur la Courbure des Voûtes*, page 625, édition in-4°.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

Sur une voûte en plein cintre.

Cette voûte pesait 382 livres ; elle était composée de 48 voussoirs dont le poids moyen était de 7 livres $\frac{24}{48}$. En posant les voussoirs supérieurs de chaque côté, on s'est aperçu que leur poids repoussait et détachait du cintre les voussoirs inférieurs.

La voûte ayant été laissée sur cintre pendant plusieurs jours avant la pose de la clef, on a observé que les 10 voussoirs inférieurs de chaque côté ne portaient nullement sur les cintres. A partir des naissances jusqu'au onzième voussoir, on apercevait un intervalle entre le cintre et la voûte. Cet intervalle augmentait depuis la naissance jusqu'au sixième ou septième voussoir, où il était moyennement d'une ligne ; de là il allait en diminuant jusqu'au onzième, où il se réduisait à zéro.

Il suit de cette observation que dans une voûte extra-dossée, en plein cintre, formée d'un assez grand nombre de voussoirs, il y a de part et d'autre, au-dessus des naissances, un grand arc qui ne porte nullement sur les cintres, et que c'est dans un des points de cet arc que doit se faire la rupture de la voûte. Couplet a calculé (Mémoires de l'Académie, année 1729) que cet arc était de trente degrés. Nous observerons que la grandeur doit varier et dépendre du diamètre de la voûte et de son épaisseur ; d'ailleurs, l'hypothèse de Couplet est inexacte, comme nous l'avons dit. En effet, il est évident que l'arc dont il s'agit doit être plus grand que celui qui se soutiendrait indépendamment d'aucun cintre, et dont le centre de gravité tombe sur l'aplomb des naissances : or, dans les voûtes en berceau dont l'épaisseur uniforme est la vingt-quatrième partie de l'ouverture, l'arc dont le centre de gravité tombe à l'aplomb des naissances est de 28° 14′ 24″, qui s'approche beaucoup de 30°. Ce dernier est donc trop petit : aussi l'expérience donne-t-elle de 37° 30′. La pose des clefs n'a apporté aucun change-

ment à ce résultat, par la raison qu'elles sont entièrement soutenues par le cintre (1).

Les clefs étant posées, et le cintre ayant été baissé de neuf lignes, on a remarqué que la voûte se fendait de chaque côté en deux points principaux, et qu'elle se serait écroulée si on eût baissé le cintre davantage. La figure première représente les effets observés. Les lignes ponctuées marquent la figure primitive de la voûte qui est en plein cintre de 8 pieds d'ouverture; les lignes noires intérieures marquent les cintres en planches portés chacun sur un madrier de champ de 3 pouces d'épaisseur et de 8 pouces de hauteur, entretenus par une entre-toise à chaque extrémité. Chaque ferme de cintre est supportée, vers ses extrémités, sur des cales en forme de coin qu'on retire à mesure qu'on décintre la voûte.

On peut voir dans la figure que la voûte s'ouvre à l'extrados de chaque côté, entre le sixième et le neuvième voussoir. A l'intrados à gauche, elle s'ouvre entre le quinzième et le dix-septième, et à droite, entre le quatorzième et le seizième. Les sept voussoirs supérieurs de chaque côté portent sur le cintre; ceux au-dessous s'en éloignent; la plus grande ouverture du joint à l'extrados est de trois lignes et demie à-peu-près; à l'intrados, elle est aux naissances de 2 à 3 lignes; elle est de 2 lignes entre le seizième et le dix-septième voussoir à gauche, et de moins d'une ligne entre le quinzième et le seizième à droite. La plus grande distance entre le cintre et la voûte est de un pouce et demi à droite, et de deux pouces à gauche.

Il suit de ces observations qu'une voûte extradossée en plein cintre d'un grand nombre de voussoirs, dont l'épaisseur est le vingt-quatrième de l'ouverture, ne saurait se soutenir par elle-même et indépendam-

(1) Lorsqu'on dit qu'un arc de 28° 14′ 24″ peut se soutenir sans autre appui que son arête inférieure, parce que le centre de gravité répond à l'aplomb de cette arête, cela s'entend d'un arc d'un seul morceau, ou de voussoirs dont les mortiers ont acquis un peu de consistance; car s'il s'agissait de voussoirs posés sans mortier les uns sur les autres, avant d'être parvenus à l'arc de 28° 14′ 24″, les voussoirs supérieurs tourneraient sur l'arête d'un des voussoirs inférieurs, parce que le centre de gravité du système de ceux-ci répondrait au-delà du nu de cette arête.

ment d'une charge sur les reins. Ici le cintre porte 14 voussoirs supérieurs qu'on doit considérer comme servant de butées aux parties inférieures, dont chacune représente une voûte rampante, et cependant celles-ci se fendent aux points *A* et *B*; les points *D* à l'extrados, *A* à l'intrados et *b* à l'extrados servent d'appui aux parties qui se divisent, qu'on doit considérer comme des leviers qui tournent autour des mêmes appuis. L'arc *AD* est de 26°15′. Il contre-balance par son poids l'arc supérieur *A b*, qui tend à le renverser en le faisant tourner autour du point *D*, ce qui est indiqué par l'ouverture du joint en *D*, qui a deux à trois lignes de largeur.

IIe EXPÉRIENCE.

(Fig. 2e.)

La première expérience ayant fait reconnaître que la partie inférieure de la voûte est trop faible pour soutenir le poids de la partie supérieure, on a embrassé de chaque côté à-peu-près la moitié de la demi-voûte par une corde tangente au milieu du treizième voussoir, et tendue par un poids de cent livres. Dans cet état, il a été possible de décintrer la voûte en totalité : elle s'est soutenue après avoir baissé de 8 lignes à la clef, et on a remarqué les effets représentés dans la deuxième figure.

La voûte paraissait vouloir se fendre en quatre parties, à l'intrados vers la clef, et aux naissances; à l'extrados, entre les sixième et onzième voussoirs. Il reste une incertitude sur le point précis de la rupture entre les sixième et onzième voussoirs : les différences entre les ouvertures des joints n'étant pas assez considérables pour le faire connaître exactement, on s'est assuré cependant que la rupture se ferait entre les neuvième et dixième voussoirs, parce qu'en chargeant le sommet de la voûte pour faire écarter les reins, les joints s'ouvraient davantage dans cette partie. Quant à la partie supérieure, la rupture se fait évidemment à l'intrados du joint vertical, et dans la partie inférieure, elle se fait à l'intrados des naissances. La voûte prête à se briser est portée sur les cinq points *D*, *a*, *b*, *a*, *D*, et dans cet état elle doit être considérée comme l'assemblage mobile de quatre leviers dont les longueurs et les appuis sont donnés ainsi que les poids, et dont il est par consé-

quent facile de déterminer les conditions d'équilibre. De part et d'autre du joint vertical, les deux joints s'ouvrent de moins en moins en descendant aux naissances; les ouvertures des deuxième et troisième joints sont à peine sensibles, tandis que le premier est assez ouvert à l'intrados, ce qui indique évidemment que la partie inférieure tourne autour du point *D* : les effets qu'on vient de décrire se manifestent dès le premier instant du décintrement.

On a aussi embrassé de chaque côté un arc de six voussoirs, ou le quart de la demi-voûte, par une corde tendue avec un poids de cent cinquante livres. On a observé les mêmes effets d'une manière beaucoup plus sensible. Le cintre, après avoir été baissé de 18 lignes, supportait encore les trois voussoirs des clefs; la voûte aurait écroulé si l'on eût baissé davantage le cintre.

IIIe EXPÉRIENCE.

(Fig. 3e.)

On a embrassé de chaque côté un arc de quinze voussoirs, ou les cinq seizièmes de la voûte, avec une corde dont on augmentait la tension à volonté, en attachant des poids à une de ses extrémités. Sous une tension de trois cents livres on a vérifié que la voûte restait parfaitement circulaire, et que les joints ne s'ouvraient ni à l'intrados ni à l'extrados; sous une moindre tension, on voyait se manifester les effets déjà décrits; sous une tension supérieure à trois cents livres, la voûte se relevait à la clef avec une ouverture de joint à l'extrados; elle descendait vers les reins en ouvrant les joints vers les six, sept, huit, neuf et dixième voussoirs; aux naissances, elle portait sur son arête intérieure, et les joints s'ouvraient à l'extrados; sous une charge de quatre cent cinquante livres pour chaque côté, ces effets devenaient beaucoup plus sensibles, et tels qu'ils sont représentés par la figure 3; la voûte se relève de huit lignes, elle rentre à-peu-près de 6 lignes vers les reins; la plus grande ouverture de joint à l'extrados de la clef est d'une ligne; de chaque côté de la clef elle est beaucoup moindre. Le plus grand joint est d'une demi-ligne entre les huitième et neuvième voussoirs; ils sont un peu

moindres sur les voussoirs voisins ; le premier voussoir se relève à l'extrados d'une ligne et demie; l'ouverture du deuxième joint est beaucoup moins grande.

Dans cette expérience, comme dans toutes les autres, la rupture se fait évidemment sur le joint vertical de la clef et sur le joint horizontal des naissances. Elle paraît se faire entre les huitième et neuvième voussoirs dans les reins; mais ici les joints s'ouvrent en sens contraire des expériences précédentes, parce que la partie inférieure de la voûte, supportant une tension de quatre cent cinquante livres, repousse la partie supérieure.

Ces résultats contraires qui dépendent de la même cause, la différence entre le moment de la partie inférieure et celui de la partie supérieure, prouvent évidemment que la voûte se brise ou tend toujours à se briser en quatre parties, et que chacune peut être considérée comme un levier qni s'appuie sur les parties adjacentes. Lorsque la partie supérieure de la voûte l'emporte, les points d'appui des leviers se trouvent à l'extrados du joint de la clef et de celui des naissances, et à l'intrados vers les reins; au contraire, lorsque la partie inférieure l'emporte, c'est à l'intrados du joint vertical et du joint horizontal que se trouvent les appuis, et à l'extrados sur les reins; ces points d'appuis se trouvent donc toujours sur les mêmes joints, tantôt à une de leurs extrémités, tantôt à l'autre, d'où l'on doit conclure que les parties principales d'une voûte, soit qu'elles se fassent équilibre ou non, ne glissent jamais sur les plans des joints, mais s'appnient toujours sur leurs arêtes d'extrados ou d'intrados, ainsi qu'on s'en convaincra par la suite de ces expériences.

IVe EXPÉRIENCE.

(Fig. 4e.)

On a eu pour but dans cette expérience de connaître les joints de rupture lorsque les reins de la voûte sont chargés de maçonnerie, comme il arrive dans les arches de pont. On a élevé en conséquence au derrière des naissances, sur quatre pouces de largeur, un massif de

briques arasé de niveau par-dessus. Au bout de quelque temps, le mortier étant un peu essuyé, on a baissé le cintre de 9 lignes, et on a observé que la voûte n'éprouvait aucun tassement sensible; en la chargeant au sommet successivement, le joint vertical s'ouvrait à l'intrados, ainsi que celui des naissances, mais ce dernier beaucoup moins que le premier; enfin, sous une charge de cent vingt-cinq livres, le sommet descendit subitement sur le cintre abaissé de 9 lignes, la voûte et les reins se fendirent, comme on voit (figure 4e), entre les quinzième et seizième voussoirs, et les joints horizontaux s'agrandirent à l'intrados. Celui de la droite était beaucoup plus ouvert que son correspondant à gauche, parce que le bloc de pierres qui portait la moitié de la voûte à gauche s'était détaché de la plate-forme où il était scellé, en tournant sur son arête extérieure; celui à droite ayant 2 pouces de plus en largeur, et ayant été scellé plus solidement, n'a pas remué, et l'effort s'est porté en totalité sur le joint horizontal de l'autre côté. Cette expérience fait connaître que les voussoirs ne glissent point les uns sur les autres; elle confirme les expériences précédentes; la seule différence qu'on y remarque, c'est que la partie inférieure de la voûte, portant presque tout le poids des reins et de la clef, se trouvant chargée de cent vingt-cinq livres, la rupture qui se faisait vers le huitième voussoir se reporte plus haut entre les quinzième et seizième voussoirs, vers l'arc de 55 degrés. En déchargeant le sommet, la voûte s'est relevée subitement et s'est remise dans son premier état.

On a placé sur l'arasement un madrier de 6 pieds 6 pouces de longueur, laissant 13 pouces d'intervalle entre chacune de ses extrémités et le derrière des reins.

Ce madrier, chargé dans son milieu d'un poids de neuf cents livres et de l'effort de deux hommes, a fait briser la voûte et les reins entre les septième et huitième voussoirs; le joint vertical s'ouvrait comme à l'ordinaire, ainsi que les joints horizontaux; ce cas n'aurait lieu dans la pratique qu'en chargeant le dessus d'une voûte d'une immense quantité de maçonnerie, de terre ou d'eau, puisque le poids dont était chargé le madrier était plus considérable que tout celui de la voûte et des reins réunis.

Voûtes surbaissées au tiers.

V[e] EXPÉRIENCE.

(figure 5[e].)

La voûte mise en expérience est une anse de panier de 8 pieds d'ouverture et de 2 pieds 8 pouces de montée, décrite avec trois arcs de cercle dont la différence entre les rayons est la moindre possible. L'arc moyen, qui comprend 24 voussoirs, est de 67° 22′ 46″ ; chacun des arcs extrêmes est de 56° 18′ 27″, et comprend 8 voussoirs de 7° 2′ 20″ chacun ; ces voussoirs, au nombre de 40 pour toute la voûte, ont été ajustés, comme on l'a décrit, dans deux moules, l'un taillé pour l'arc extrême, l'autre pour l'arc moyen.

On a remarqué, comme dans la première expérience, que les voussoirs supérieurs repoussaient de chaque côté, par leur poids, les sept premiers vonssoirs inférieurs qui touchaient à peine le cintre.

Le cintre ayant été baissé d'un pouce, les reins se sont écartés et se seraient brisés entre les sixième et septième voussoirs, si l'on eût continué le décintrement. Les 16 voussoirs supérieurs étaient appuyés sur le cintre, les 12 inférieurs de chaque côté en étaient repoussés, et formaient à droite et à gauche une portion de voûte rampante dont le joint des naissances et celui de la clef, entre les douzième et treizième voussoirs, s'ouvraient à l'intrados ; entre le sixième et le septième où la voûte tendait à se briser, l'ouverture de joint avait lieu à l'extrados ; ces ouvertures pouvaient être de 1 à 2 lignes.

Cette expérience se rapporte à la première ; elle prouve qu'une voûte ovale extradossée, surbaissée au tiers, formée de voussoirs sans interposition de mortier, dont la coupe est le vingt-quatrième de l'ouverture, ne peut se soutenir par elle-même. Elle fait voir aussi que même une portion de cette voûte se brise comme la moitié d'une voûte entière, en s'appuyant sur l'extrados des joints supérieurs et inférieurs, et à l'intrados de la partie intermédiaire ; ce qu'on avait déjà eu occasion de

remarquer dans le cours de ces expériences, même pour de très-petites portions de voûtes prises à volonté.

VIe EXPÉRIENCE.

(Fig. 6.)

On a embrassé chaque arc extrême avec une corde tendue par un poids de cent livres, et on a baissé le cintre de 18 lignes: la voûte s'est soutenue après avoir tassé promptement de plus d'un pouce. Le joint vertical s'est ouvert à l'intrados ainsi que le joint horizontal. Entre les sixième et septième voussoirs, il s'est ouvert à l'extrados, ce qui se rapporte entièrement à la deuxième expérience et fait voir de quelle manière se fait la rupture. Les reins se brisent ici à-peu-près vers l'angle de 45 degrés, qui comprend les deux septième de la demi-voûte.

En augmentant la tension de la corde, la voûte se relève, les joints se resserrent, ce qui prouve qu'avec une tension assez forte on obtiendrait les mêmes résultats que dans l'expérience troisième, qu'on n'a pas voulu répéter.

VIIe EXPÉRIENCE.

(Fig. 7.)

La voûte a été élevée sur deux piédroits de même épaisseur qu'elle; et de 13 pouces de hauteur; les cordes étaient toujours tendues par un poids de cent livres. Après le décintrement, on a vu se manifester les mêmes effets que dans la sixième expérience, excepté que le joint des naissances ne s'est point ouvert; mais la partie inférieure de la voûte, depuis le sixième voussoir, n'a fait qu'une seule et même masse avec le piédroit, qui a tourné autour de son arête extérieure en déversant un peu. Les trois joints des sixième et septième voussoirs se sont ouverts à l'extrados, et les trois joints supérieurs se sont ouverts à l'intrados.

Cette expérience fait voir qu'une voûte ovale, soit qu'elle porte immédiatement sur le plan des naissances ou sur la base d'un piédroit

de même épaisseur qu'elle, se fend en quatre parties qui s'appuient à l'extrados des parties verticales et horizontales, et à l'intrados de la partie intermédiaire, de manière que, connaissant la direction de l'effort de chaque partie et son poids, il est facile de soumettre au calcul les conditions de l'équilibre d'une pareille voûte, sans faire rien entrer d'hypothétique dans la formule.

Jusqu'à présent on observe une marche bien constante dans les résultats des expériences, et l'on voit déjà le peu de compte qu'il faut tenir de la théorie ordinaire de l'équilibre des voûtes. On ne saurait exciper ici de ce que les résultats sont obtenus en petit. Les voûtes soumises à l'expérience avaient 8 pieds d'ouverture ; elles étaient formées d'après les proportions des grandes voûtes de pont, et composées d'un grand nombre de voussoirs : aussi les résultats sont-ils analogues à ceux qu'on a observés dans le cintrement et après le décintrement des ponts de Neuilly et de Mantes (*Voyez* les pages 608 et 609 de l'OEuvre de Perronnet, édition in-4°.)

VIIIe EXPÉRIENCE.

(Fig. 8.)

La voûte a été élevée sur deux piédroits de 13 pouces de hauteur, et on a élevé au derrière, sur la largeur d'une brique, la maçonnerie des reins jusqu'au sommet de la voûte, où elle a été arasée de niveau. Cette maçonnerie, composée de briques et de mortier de sable très-maigre, étant destinée à faire connaître si son poids change la position des joints de rupture, et comment elle se fait dans les reins, on n'a laissé cette maçonnerie qu'un jour sur cintre.

On a baissé le cintre de 18 lignes : 5 voussoirs supérieurs portaient à gauche et 8 à droite ; la voûte s'est brisée à gauche entre les quinzième et seizième voussoirs, et le joint s'est ouvert de 2 lignes à l'intrados ; à droite, elle s'est brisée entre le douzième et le treizième, et l'ouverture de l'intrados était un peu moindre que la précédente : voilà pour les parties supérieures. Dans les inférieures, elle s'est ouverte à l'extrados, entre les deuxième et troisième joints, de 2 lignes à gauche et d'un peu moins à droite. Les reins se sont fendus à droite, entre les troisième et

quatrième voussoirs, dont le joint s'ouvrait un peu à l'extrados; à gauche, ils se sont fendus entre les cinquième et sixième voussoirs; ils étaient détachés de la voûte depuis le troisième voussoir jusqu'au cinquième; l'intervalle allait en augmentant du troisième au cinquième, où il était à-peu-près d'un demi-pouce; la partie inférieure s'est déversée, et les piédroits ont basculé autour de leur arête extérieure.

Cette expérience prouve que les piédroits et la maçonnerie au derrière sont insuffisans pour soutenir la voûte. Elle confirme les précédentes sur le changement qu'apporte le poids des reins dans la position du joint de rupture des reins, et sur la manière dont se brise même une portion de voûte. On voit que les reins se fendent dans la direction du rayon, et on reconnaît, comme précédemment, quatre parties bien distinctes, deux à droite et deux à gauche, une agissante et une autre résistante de chaque côté; s'il y a quelque différence dans la position des ruptures de part et d'autre du milieu de la voûte, elle ne peut venir que de la manière dont la voûte a été déointrée, en ne baissant pas également le cintre de chaque côté, ou de la dessiccation du mortier des reins plus grande d'un côté que de l'autre.

IIᵉ EXPÉRIENCE.

(Fig. 9.)

On appliqué verticalement contre la maçonnerie des reins deux madriers soutenus par un arc-boutant, et on a baissé le cintre de 28 lignes: la voûte a conservé sa figure primitive sans qu'il se soit manifesté aucune rupture.

On a placé sur la clef des poids qu'on a portés successivement jusqu'à 150 livres : le sommet baissait sensiblement; les arcs-boutans étaient bandés plus fortement par la pression de la maçonnerie, qui tendait à déverser; la voûte s'est fendue en quatre parties, savoir : au joint vertical, qui s'est ouvert de plus d'un demi-pouce à l'intrados, et entre les treizième et quatorzième voussoirs de chaque côté, dont le joint s'est ouvert de 2 lignes à l'extrados. Enfin les piédroits ont basculé un peu autour de leur arête extérieure, et le joint inférieur

s'est ouvert de plus d'une ligne en dedans, malgré la résistance des arcs-boutans appliqués contre le derrière de la maçonnerie. Les reins se sont fendus de chaque côté dans la direction du joint entre les treizième et quatorzième voussoirs.

Cette expérience se rapporte à la quatrième sur le plein cintre, où la maçonnerie au derrière étant insuffisante pour soutenir la voûte, les poids placés au sommet l'ont brisée de la manière que nous venons de le décrire.

Voûtes surbaissées au quart.

Les expériences précédentes ont été répétées sur des voûtes surbaissées au quart, décrites avec trois arcs de cercle, dont la courbure diffère le moins possible. Chaque expérience a été faite lorsque la voûte portait immédiatement sur le joint des naissances, et lorsqu'elle était élevée sur deux piédroits de 13 pouces de hauteur. On a tenu compte des moindres observations sur l'exactitude desquelles on peut compter. Les mêmes voussoirs ont encore servi ici, après avoir été placés dans deux moules, l'un pour l'arc extrême, l'autre pour l'arc moyen. Chaque arc extrême embrassait six voussoirs, chacun de 10° 34′ 21″. L'arc moyen en embrassait douze, chacun de 4° 25′ 39″.

1e EXPÉRIENCE.

(Fig. 10.)

La voûte portait sur le joint des naissances, et le cintre a été baissé de 5 lignes. Les seize voussoirs supérieurs reposaient sur le cintre, les dix inférieurs de chaque côté s'en sont détachés; la partie inférieure, qu'on peut considérer comme une portion de voûte rampante, s'est fendue à l'extrados entre les quatrième et cinquième voussoirs, dont le joint s'est ouvert de 4 lignes. Entre les dixième et onzième, c'est-à-dire, vers le sommet de la voûte rampante, l'ouverture a été de 1 ligne et $\frac{1}{2}$ à l'intrados, de même qu'aux naissances.

Cette expérience, qui est analogue à la première et à la cinquième, confirme qu'une voûte ovale extradossée, surbaissée au quart, dont l'épaisseur est le vingt-quatrième de l'ouverture, ne peut se soutenir

par elle-même; elle fait voir aussi qu'au point où la partie supérieure tend à se briser, le joint s'ouvre à l'intrados. Lorsque la voûte se soutient, les ruptures qui ont lieu ici entre les dixième et onzième voussoirs se portent au joint vertical ou aux deux joints de la clef. Les effets sont les mêmes, puisque les seize voussoirs supérieurs descendant sans rupture sur le cintre, peuvent être considérés comme une clef d'un seul morceau s'appuyant contre le dixième voussoir.

XIe EXPÉRIENCE.

(Fig. 11.)

On a monté la voûte sur deux piédroits de 13 pouces de hauteur, composés de quatre assises. Le cintre ayant été descendu de 4 lignes, les sept voussoirs inférieurs seulement se sont détachés; le joint entre le septième et le huitième s'est ouvert de 1 ligne et $\frac{1}{2}$ à l'intrados, entre le deuxième et le troisième, de 3 lignes à l'extrados, et de 1 ligne seulement entre le troisième et le quatrième. Le joint inférieur des piédroits s'est ouvert de 1 ligne et $\frac{1}{2}$ en dedans, et les naissances de la voûte ont été repoussées de 6 lignes hors de leur position primitive.

Cette expérience, qui se rapporte à la précédente, fait voir la différence qu'il y a entre la position des joints de rupture d'une voûte qui porte immédiatement sur les joints des naissances, ou qui a un piédroit de même épaisseur qu'elle.

XIIe EXPÉRIENCE.

(Fig. 12.)

On a fait porter la voûte sur le joint des naissances, et on a embrassé chaque arc inférieur par une corde chargée d'un poids de 250 livres. La voûte s'est soutenue après avoir baissé de 6 lignes au sommet, dont le joint s'est ouvert à l'intrados de 1 ligne, les deux voisins de $\frac{1}{2}$ ligne seulement. A l'extrados, entre les quatrième et cinquième voussoirs, le joint s'est ouvert de 1 ligne et $\frac{1}{2}$; et de

1 ligne entre les cinquième et sixième; à l'intrados des naissances il s'est ouvert d'une demi-ligne ; après douze heures le tassement avait augmenté de 3 lignes.

Cette expérience est la même que la deuxième et la sixième; elle fait voir que la rupture d'une voûte ovale extradossée, dont l'épaisseur est le vingt-quatrième de l'ouverture, doit se faire à-peu-près vers l'angle de 45 degrés; en tendant les cordes davantage, le sommet de la voûte se relève, les joints se resserrent et tendent à s'ouvrir en sens contraire, ce qui se rapporte entièrement à la troisième expérience.

XIIIe EXPÉRIENCE.

(Fig. 13.)

L'expérience précédente a été répétée lorsque la voûte était montée sur deux piédroits de 13 pouces de hauteur. L'arc extrême étant toujours embrassé par une corde tendue avec un poids de 250 livres, le sommet a descendu de 1 pouce; le joint vertical s'est ouvert à l'intrados de 3 lignes, les deux joints de chaque côté de 1 ligne. A l'extrados, entre le cinquième et le sixième, de 1 ligne; un peu moins entre le quatrième et le cinquième. Le joint inférieur des piédroits s'est ouvert de 1 ligne en dedans, et les naissances de la voûte ont été repoussées de 3 lignes en dehors.

En chargeant davantage les cordes, les joints tendaient à se resserrer et à se rouvrir en sens contraire.

Cette expérience fait voir que les piédroits, en fléchissant, affaiblissent la résistance de la partie inférieure, puisque la voûte a tassé de 1 pouce, au lieu que dans la douzième expérience, le tassement n'a été que de 6 lignes.

XIVe EXPÉRIENCE.

(Fig. 14.)

La voûte reposait sur deux culées ou blocs de pierre de taille; on avait placé derrière les naissances un massif de briques de 13 pouces

d'épaisseur, arasé de niveau au-dessus de la voûte. Les briques étaient maçonnées avec un mortier très-maigre, sans liaison entre elles, afin d'avoir la facilité de diminuer ce massif suffisamment pour faire briser la voûte. Après le décintrement, la voûte est restée dans son état primitif. On a ôté de chaque côté, au derrière du massif, un rang de briques sur toute la hauteur, ce qui le réduisait à 8po et demi. Une lézarde a commencé à se manifester de chaque côté entre les cinquième et sixième voussoirs; elle se prolongeait verticalement en suivant le joint de la maçonnerie. La voûte avait alors tassé de 3 lignes, et le joint vertical commençait à s'ouvrir à l'intrados.

On pense que cette première lézarde, à peine sensible, était moins due au manque de résistance de la partie inférieure de la voûte et de la maçonnerie au derrière, qu'au resserrement inévitable des joints après le décintrement, ce qui, occasionant un petit tassement dans la partie supérieure de la voûte, et par conséquent dans la maçonnerie, qui baissait plus à la clef qu'au-dessus des cinquième et sixième voussoirs, a pu occasioner cette lézarde.

On a ôté encore un rang de briques, ce qui réduisait le massif à 4 pouces d'épaisseur : la voûte est descendue subitement de 9 lignes jusque sur le cintre; la lézarde s'est accrue; la maçonnerie au derrière a déversé, et les joints de rupture se sont ouverts. A gauche, la lézarde avait 1 ligne en bas, 6 lignes en haut; elle se prolongeait presque verticalement au-dessus du joint des cinquième et sixième voussoirs. Le joint vertical s'était ouvert de 1 ligne à l'intrados; entre le quatrième et le cinquième voussoirs le joint était ouvert de 1 ligne à l'extrados, et de $\frac{3}{4}$ de ligne entre le cinquième et le sixième. Le joint des naissances ne s'est pas ouvert; mais le bloc de pierre qui portait la voûte et la maçonnerie a basculé autour de son arête extérieure, et s'est élevé à-peu-près d'une demi-ligne en dedans.

A droite, la lézarde, qui se prolongeait aussi au-dessus des cinquième et sixième voussoirs, avait 3 lignes en bas et 1 pouce en haut. Le joint entre les cinquième et sixième voussoirs était ouvert de 2 lignes à l'extrados et d'un peu moins entre le quatrième et le cinquième. Le joint des naissances ne s'est pas ouvert; mais le bloc qui portait la maçonnerie a également basculé d'une demi-ligne à-peu-près.

On doit remarquer que la maçonnerie des reins était médiocrement sèche, et seulement essuyée.

La petite lézarde qui a commencé à se faire voir d'abord, et qu'on attribue au tassement de la partie supérieure de la voûte, pouvant faire croire que les reins se fussent brisés ailleurs sans cette lézarde, on a recommencé cette expérience, en plaçant au derrière des naissances un massif de 8^{po} et demi d'épaisseur, posé de même sans liaison. Après douze heures on a décintré : il ne s'est fait aucune rupture. On a ôté une brique, ce qui a réduit le massif à 4 pouces. On a placé à la clef un poids de trente livres pour faire rompre la voûte : les reins se sont brisés à droite seulement entre les septième et huitième voussoirs; la lézarde avait une demi-ligne en bas, 6 lignes en haut; la voûte avait tassé de 6 lignes. Il ne s'est fait aucune brisure dans les reins à gauche, parce que la droite ayant fléchi d'abord, tout le poids s'est reporté de ce côté; et la maçonnerie des reins de la partie à gauche a déversé un peu vers la droite. En appuyant sur le derrière de la maçonnerie à droite, on faisait basculer le bloc qui était à gauche.

XVe EXPÉRIENCE.

(Fig. 15.)

La voûte était portée sur deux piédroits de 13 pouces de hauteur; un massif de 8^{po} et demi était placé derrière; le dernier rang de briques seulement n'étant pas posé en liaison, pour avoir la facilité de le retirer si cela devenait nécessaire. On a baissé le cintre de 9 lignes; le mortier était extrêmement maigre et seulement essuyé; la voûte s'est soutenue quelques instans, en baissant à la clef dont le joint s'ouvrait à l'intrados; puis tout-à-coup le haut est tombé sur le cintre; à gauche, l'extrados du joint, entre les cinquième et sixième voussoirs, s'est ouvert de 3 lignes et $\frac{1}{2}$ et de 1 ligne entre le quatrième et le cinquième; la lézarde des reins commençait au joint des cinquième et sixième voussoirs, passait par-dessus le sixième jusqu'au septième; de là elle traversait les reins, en suivant presque verticalement les liaisons de la maçonnerie; elle avait 4 lignes en bas entre les sixième et septième voussoirs, et un pouce en haut; elle ne suivait

pas la direction du joint, quoiqu'elle se rejetât un peu à gauche. Le piédroit et la maçonnerie au derrière surplombaient en dehors en tournant sur l'arête extérieure. La rupture de cette partie s'est portée depuis l'angle extérieur, en suivant les joints des briques, jusqu'au-dessus de la première assise des piédroits, où l'ouverture du joint était de 1 ligne et $\frac{1}{2}$.

A droite le joint, entre le quatrième et le cinquième voussoir, s'est ouvert de 3 lignes à l'extrados, et de 1 ligne entre le cinquième et le sixième. La lézarde commençait vis-à-vis du joint du quatrième et du cinquième, se prolongeait en suivant la voûte jusqu'au milieu du cinquième voussoir; de là, en s'inclinant vers la droite selon les liaisons de la maçonnerie, elle divisait les reins : son ouverture inférieure était de 3 lignes et la supérieure de 9 lignes. Le piédroit déversait un peu en dehors, quoiqu'il ne se fît aucune ouverture apparente dans la partie inférieure : la raison en est que la gauche ayant cédé plus promptement par la manière dont s'est fait le décintrement, tout l'effort s'est porté de ce côté. Le joint vertical était ouvert de 2 lignes à l'extrados.

On a observé à l'arche de Nogent-sur-Seine, de 90 pieds d'ouverture et de 27 pieds de flèche, des effets semblables à ceux que nous venons de décrire. On élevait la maçonnerie des reins en même temps que la voûte, en posant de chaque côté le 20e des 95 cours de voussoirs qui composaient la voûte; le joint s'ouvrit de 9 lignes au-dessus du quinzième cours de voussoirs, et traversa le massif des reins.

Voûtes en arc de cercle.

On a fait aussi des expériences sur des voûtes en arc de cercle, dans l'intention de distinguer la puissance agissante de la puissance résistante.

XVIe EXPÉRIENCE.

(Fig. 16.)

La voûte a 8 pieds d'ouverture, 2 pieds de flèche, 5 pieds de rayon; elle comprend un arc de 106° 15′ 36″, composé de 36 vous-

15

soirs extradossés, de 4^{po} de coupe, pesant ensemble trois cents livres. La voûte est portée sur deux blocs de 12^{po} et demi de hauteur, sur 12^{po} de largeur; celui de la gauche pèse cent soixante-six livres, et celui de la droite cent cinquante-neuf livres. Ces blocs sont appuyés pardevant sur deux cales en bois et sur un coin par-derrière. Chacun est chargé d'un petit dé de trente-trois livres, dont le milieu est éloigné de 5^{po} 3^{l}. de l'arête extérieure des gros blocs, plus d'une brique scellée en plâtre pesant six livres, dont le centre de gravité répondait à 8^{po} et demi du derrière des blocs.

Après le décintrement, la voûte s'est soutenue dans son état primitif. La résistance des culées étant trop considérable, on a diminué la distance de leur centre de gravité à l'axe de rotation, en substituant au coin de derrière une cale distante de 2^{po} et demi de l'arête extérieure des blocs. Ils ont basculé un peu; le sommet de la voûte a baissé de 3 lignes; le joint vertical s'est ouvert à l'intrados de $\frac{1}{4}$ de ligne; le joint entre les deuxième et troisième voussoirs de chaque côté s'est ouvert de 1 ligne à l'extrados; les blocs paraissaient avoir tourné de $\frac{1}{4}$ de ligne, et ils avaient été repoussés de 1 ligne et $\frac{1}{2}$ vis-à-vis des naissances par différens mouvemens qu'on leur avait imprimés en pesant avec la main sur le haut de la voûte.

XVIIe EXPÉRIENCE.

(Fig. 17.)

On a posé les reins de voûte à sec avec des briques; les blocs étaient calés derrière, et après le décintrement ils n'ont pas bougé. L'ouverture de $\frac{1}{4}$ de ligne à l'intrados du joint vertical et de 1 ligne à l'extrados du joint des coussinets, n'a eu lieu que parce que les blocs étaient éloignés de 8^{pds} 2^{l}, au lieu de 8^{pds}, ce qui a fait tasser la voûte. Les reins pesaient cinq cent cinquante livres et demie.

XVIIIe EXPÉRIENCE.

(Fig. 18.)

En chargeant la clef d'un poids de quatre-vingt-sept livres successivement, et en déchargeant les reins, la voûte s'est brisée en quatre parties, en tombant sur le cintre abaissé de 6 lignes. La partie restante des reins s'élevait sur la largeur d'une brique, depuis le bas de la voûte jusqu'au milieu du quatrième voussoir de chaque côté, et pesait quarante-sept livres et demie. Le joint de la clef s'est ouvert à l'intrados de 2 lignes; celui de la contre-clef à droite de 1 ligne et $\frac{1}{2}$, celui à gauche d'une demi-ligne. A l'extrados à gauche, les joints des septième, huitième et neuvième voussoirs se sont ouverts de 1 ligne et $\frac{1}{2}$. A droite le joint des septième et huitième voussoirs s'est ouvert de 1 ligne à l'extrados, et de 1 ligne et $\frac{1}{2}$ entre le huitième et le neuvième. Le joint du coussinet à droite s'est ouvert de 1 ligne à l'intrados; celui de la gauche est resté fermé; mais le bloc à gauche avait basculé de 1 ligne, tandis que celui de la droite était resté immobile.

XIXe EXPÉRIENCE.

(Fig. 19.)

La voûte est composée de 52 voussoirs pesant deux cent cinquante-trois livres; elle est élevée sur deux blocs distans de 8^pds 2^po 2^l, et de 12^po 4^l de hauteur, portés sur un coin par-derrière et sur deux cales par-devant. La voûte a été appareillée sur une ouverture de 8 pieds, quoique les blocs, qui avaient été repoussés de 1 ligne de chaque côté dans les précédentes expériences, n'eussent pas été remis en place.

Pour se mettre au-dessus de l'équilibre, on avait posé sur le milieu de chaque culée un poids de cinquante livres, et après le décintrement on n'a aperçu aucun effet. On a ôté en même temps les deux poids de cinquante livres, et les deux culées ont tourné subitement sur les cales de derrière, mais d'une quantité presqu'insensible qu'on n'a pu estimer que parce que les cales de devant ne tenaient plus. On porte ce

mouvement de rotation à $\frac{1}{4}$ de ligne, dont l'arête intérieure des culées s'est élevée. Les joints des coussinets ont commencé à s'ouvrir de chaque côté à l'extrados, à-peu-près de $\frac{1}{4}$ de ligne; on n'a aperçu aucune ouverture à l'intrados de la clef.

On a tiré en arrière, avec la main, chaque culée, sans aucun effort, la poussée de la voûte étant pour ainsi dire en équilibre avec la résistance; les joints du coussinet s'ouvraient davantage à l'extrados, l'ouverture de l'intrados du joint vertical étant encore insensible, en sorte que la voûte ne paraissait former qu'un seul morceau baissé à la clef de 2 lignes, et faisant basculer chaque culée d'une demi-ligne en s'appuyant sur l'intrados du premier voussoir. En continuant de faire basculer les culées, jusqu'à ce que le sommet de la voûte ait été baissé de 8 lignes, le joint vertical s'est ouvert de $\frac{1}{4}$ de ligne à l'intrados; les joints des coussinets se sont ouverts de 5 lignes à l'extrados, et les culées avaient tourné de 6 lignes sur les cales de derrière. En abandonnant les culées à leur poids, elles sont retombées sur leur base, le sommet de la voûte s'est relevé, et tout le système a fait plusieurs mouvemens d'oscillation; ce qui indique suffisamment un équilibre très-approché.

On doit conclure de cette expérience qu'une voûte en arc de cercle très-surbaissée, se brise en deux parties, à l'intrados du sommet et à l'extrados de chaque coussinet, ce qui fait toujours, en comprenant les deux culées ou piédroits, quatre parties principales, comme dans les expériences précédentes. Quoique l'ouverture du sommet soit presque insensible, elle a néanmoins lieu, puisque le sommet descend, et que l'ouverture de la voûte s'agrandit un peu par la rotation de chaque culée.

De semblables observations ont été faites sur de très-grandes voûtes en arc de cercle. On peut voir, dans le devis du pont de Louis XVI (OEuvres de Perronet, édition in-4°., pages 292 et 313), les précautions prises pour la pose des voussoirs des coussinets et de la clef. On donne une très-grande ouverture de joint à l'extrados de la clef, et à l'intrados des naissances, parce que, immédiatement après le décintrement, la voûte agissant comme nous venons de le décrire dans nos expériences, l'extrados du joint de la clef se resserre, ainsi que l'intrados du joint

du coussinet, de manière qu'en tirant une ligne droite du dessus de la clef aux naissances, on a la direction suivant laquelle se fait la poussée. Les mêmes effets ont été observés au pont de Sainte-Maixence et ailleurs.

XXe EXPÉRIENCE.

(Fig. 20.)

En plaçant des reins en briques posées à sec, au nombre de 27 de chaque côté, y compris sept briques placées d'aplomb sur chaque petit socle d'arasement avec la face intérieure, les vingt autres seulement de chaque côté étant placées en liaison, on a observé précisément les mêmes effets; mais les culées avaient plus de résistance par le poids qui les chargeait, et les sept briques placées sur les petits dés se sont détachées des reins, en formant une lézarde marquée dans la figure 20 : chaque brique pèse moyennement quatre livres.

XXIe EXPÉRIENCE.

(Fig. 21.)

La voûte est appareillée sur 8 pieds d'ouverture, 6 pouces 6 lignes $\frac{22}{25}$ de flèche, et quatre pieds 10 pouces 6 lignes $\frac{3}{4}$ de rayon; l'arc est de 30 voussoirs pesant deux cent vingt-sept livres, et comprenant $31^{\circ}\ 16'\ 16''$; ses dimensions sont les $\frac{4}{25}$, ou à-peu-près le $\frac{1}{6}$ de celle du pont de Nemours, de 50 pieds d'ouverture, de 93 pieds de rayon, et 3 pieds 5 pouces 1 ligne de flèche.

Les deux piédroits étaient chargés chacun de trois cent vingt-sept livres placées dans leur milieu; le bloc à gauche pesait deux cent neuf livres, et celui à droite deux cent trois livres; le centre de gravité de l'un et de l'autre répondait à 5 pouces 7 lignes de son arête extérieure, et depuis la ligne des naissances jusqu'à l'arête inférieure des culées, il y avait 12 pouces 6 lignes pour le bras de levier de la poussée horizontale.

Après le décintrement, la voûte a tassé de 7 lignes; elle avait 8 pieds 6 lignes d'ouverture, et 5 pouces 7 lignes de flèche. (On avait laissé un peu de jeu de chaque côté entre les culées et le cintre pour baisser

ce dernier plus facilement, ce qui rendait l'ouverture de plus de 8 pieds.) Dans cet état, les piédroits paraissaient vouloir basculer; le premier joint à gauche était ouvert à l'extrados de 1 ligne $\frac{1}{2}$, le même à droite à-peu-près de $\frac{1}{2}$ ligne. Le joint vertical s'est ouvert de $\frac{1}{2}$ ligne à l'intrados, les deux voisins un peu moins.

On remarquera qu'on a pris les naissances aux points où les premiers voussoirs butaient contre les culées; c'est un peu au-dessus de leur arête d'intrados, qui était arrondie par l'usage qu'on en avait déjà fait.

La voûte ayant tassé de 9 lignes, la flèche étant, par conséquent, de 5 pouces 5 lignes, et l'ouverture de 8 pieds 7 lignes par la rotation des piédroits, de chacun desquels on avait ôté un poids de soixante-dix livres, les ouvertures de joint remarquées ci-dessus étaient plus grandes.

Enfin, en déchargeant encore les piédroits de cinquante livres en même temps, on a vu la voûte se fendre en deux parties au milieu, et tomber en s'appuyant sur l'extrados du joint vertical, et à l'intrados des naissances; elle a fait basculer les piédroits jusqu'à ce que la distance des naissances fût égale aux deux lignes inclinées, menées, avant la rupture, de l'intrados des naissances à l'extrados du joint vertical : c'est à l'instant que cette égalité a eu lieu que la voûte s'est brisée.

Plate-bande.

XXIIe EXPÉRIENCE.

(Fig. 22.)

Cette plate-bande a 8 pieds de portée; elle est composée de trente claveaux pesant 220 livres; ils sont posés sur deux lignes inclinées formant un angle au milieu de la plate-bande, dont le sommet est de 9 lignes plus élevé que ses deux extrémités, afin que par le tassement la plate-bande devienne une ligne droite; les claveaux n'ont point de coupe, excepté les deux du milieu, qui rachètent l'inclinaison des deux lignes inclinées qui ont servi à la pose.

Le bloc à gauche servant de culée pèse, comme dans la précédente expérience, 209 livres, celui à droite 203 livres ; le centre de gravité de chacun passe à 5 pouces 7 lignes de son arête extérieure; ils sont chargés chacun dans leur milieu de 732 livres.

Après le décintrement, la plate-bande s'est soutenue quelques instans, le sommet est descendu, le joint vertical s'est ouvert sensiblement à l'intrados, et les deux joints des naissances à l'extrados. Les piédroits ont basculé subitement, et la plate-bande est tombée en appuyant ses deux parties au sommet du joint vertical et à l'intrados des naissances. On n'avait pas pu charger davantage les culées faute de poids; et, avant la rupture, on n'a aperçu d'autres ouvertures de joints que celles mentionnées ci-dessus.

Remarques sur les Expériences, et application du calcul.

La première conséquence qu'on doit tirer de ce qui précède, est que la théorie ordinaire de l'équilibre des voûtes doit être entièrement abandonnée. La marche régulière de nos expériences, faites sur des voûtes assez grandes et dont la forme est si variée, la similitude de nos résultats avec ceux qui ont été observés dans les voûtes des ponts construits par Perronet, et consignés dans son ouvrage, nous assurent que nous possédons les véritables données du problême de l'équilibre des voûtes, résolu jusqu'à présent d'une manière hypothétique et contraire à l'expérience. En effet, il est constant que jamais les voussoirs ne glissent les uns sur les autres, mais qu'ils tournent sur leurs arêtes, et que les voûtes, considérées avec leurs piédroits, se brisent toujours en quatre parties principales. C'est donc l'action et la réaction de ces quatre parties qu'il s'agit de soumettre au calcul, afin qu'il en résulte l'équilibre; sur quoi nous ferons observer qu'une voûte peut avoir de la stabilité indépendamment de tout équilibre, toutes les fois que les parties agissantes qui partent de la clef ont moins d'action que les deux résistantes qui partent des naissances de la voûte ou de la base des piédroits. C'est une condition qui a lieu dans toutes les voûtes qui existent et qui peut entrer dans le calcul. Il n'en est pas ainsi dans la théorie ordinaire : il y faut supposer, pour parvenir à une équation, qu'un voussoir in-

infiniment petit est autant pressé par la partie supérieure que par la partie inférieure; d'où il résulte, dans les voûtes en berceau, que les voussoirs des naissances, reposant sur une base presque horizontale, n'ont point d'énergie pour glisser ou pour presser un voussoir supérieur, et par conséquent ils doivent être infiniment grands, afin de gagner en masse ce qu'ils perdent par leur position. C'est la conséquence de cette théorie, ainsi que nous l'avons déjà remarqué, et sans laquelle il n'y aurait pas d'équilibre ou d'équation.

Fig. a. Soit donc KEK' une voûte quelconque avec les pié-droits; $DE,D'E$ les deux parties supérieures agissantes, $KD,K'D'$ les deux parties inférieures résistantes. Lorsque la voûte est près de se briser, nous avons vu que la partie DE ne porte que sur les points D et E, et la partie KD sur les points D et K. Je mène les lignes DE et KD, par le centre de gravité de la partie DE; j'abaisse une verticale qui rencontre la droite DE au point i, et je prends ig, pour représenter le poids de la partie supérieure, puisque cette partie ne porte que sur les points D et E. Je décompose ig en deux autres forces verticales passant par les mêmes points; l'une Df sera égale à $ig\,\frac{iE}{DE}=ig\,\frac{kE}{Eq}$; l'autre Ed sera égale à $ig\frac{Di}{ED}=ig,\ \frac{Kq}{qE}$. Une semblable décomposition ayant lieu pour la partie ED', on aura au point E une autre force verticale égale à dE, qui, étant ajoutée à la précédente, donnera $Ec=2Ed=2\,ig\frac{kq}{Eq}$. Je décompose la force Ec en deux autres Ea,Eb, dirigées suivant les lignes ED,ED'; et, à cause des triangles semblables Ead,EDq, on aura $Ea=ig\frac{kq}{Eq}.\frac{ED}{Eq}$. La force Ea étant appliquée au point D de la direction, je la décompose encore en deux autres, Dr et Ds, l'une horizontale et l'autre verticale. La première, $Dr=ig\frac{kq}{Eq}\times\frac{Dq}{Eq}$; la deuxième, $Ds=ig\frac{kq}{Eq}$. Ajoutant les deux forces verticales qui passent sur le point D, on aura $Ds\times Df=ig\frac{kq}{Eq}\times ig\frac{kE}{Eq}=ig$, ou le poids de la partie supérieure, comme cela est évident, sans aucun calcul.

Si l'on élève la perpendiculaire KU sur KR, et qu'elle soit le point où la verticale, abaissée du centre de gravité de la partie inférieure, rencontre la ligne DK, on aura, pour les conditions de l'équilibre autour du point K, en nommant p ou ig le poids de la partie supérieure, et Q celui de la partie inférieure, l'équation

$$(A)\ p\frac{kq}{Eq}.\frac{Dq}{Eq}.\ KU=p.\ KR+QKS.$$

Si l'on veut qu'il y ait stabilité sans équilibre, on aura

$$p.\frac{kq}{Eq}.\frac{Dq}{Eq}KU>p.\ KR+q.\ KS.$$

Tirons quelques conséquences de cette formule.

On voit, par l'expression de la poussée horizontale $p\frac{kq}{Eq}.\frac{Dq}{Eq}$, que plus la ligne kq augmente, plus aussi la poussée est considérable, toutes choses égales d'ailleurs, et cela a lieu à mesure que le centre de gravité de la partie supérieure se rapproche de la clef, ou qu'on charge davantage le sommet de la voûte, ce qui est confirmé par l'expérience. Au contraire, la poussée horizontale diminue à mesure que kq devient plus petite; elle devient nulle lorsque kq est nulle; ce qui arrive lorsque le centre de gravité de la partie supérieure répond au-dessus du point D; car alors cette partie est en équilibre autour de ce point.

Il résulte donc de ce corollaire la possibilité de construire une voûte qui n'ait aucune poussée. Ce problème nouveau et curieux n'a rien de difficile. Il consiste, étant donné l'intrados, à trouver pour l'extrados une courbe telle que, menant une normale MN à l'intrados, fig. b, le centre de gravité de l'espace $AMNB$ se trouve éloigné de la ligne des abscisses de la quantité de l'espace MP. La solution conduit à une équation différentielle dont les constantes se déterminent par l'épaisseur qu'on veut donner à la clef et aux naissances de la voûte.

Lorsque le centre de gravité de la partie supérieure tombe dans son milieu, comme cela arrive sensiblement dans les voûtes très-surbaissées et uniformément épaisses, alors $kq=\frac{Eq}{2}$, et la formule devient

$$\frac{p}{2}\frac{Dq}{Eq}.KU=p\ KR+QKS.$$

Si la voûte est une plate-bande, Eq sera égale à son épaisseur; en nommant donc e cette épaisseur et $2\,l$ la longueur de la plate-bande, l'expression ci-dessus deviendra $\frac{p}{2}.\frac{l}{e}.KU = pKR + QKS$. D'où il résulte que la poussée horizontale d'une plate-bande est égale à un quart de son poids multiplié par le rapport de la longueur à l'épaisseur.

La formule (A) fait voir que la poussée d'une voûte est d'autant moindre que le centre de gravité de la partie supérieure se rapproche davantage du point D; alors aussi la pression de la clef est d'autant moindre; car en nommant X une force horizontale appliquée en E, on aura, pour la pression de la clef au point E, $p.\frac{Dh}{Eq}$ qui diminue en même temps que Dh. Dans les voûtes très-surbaissées, d'une épaisseur uniforme, cette pression est égale au huitième du poids de la voûte entière, multiplié par le rapport de l'ouverture à la flèche augmenté de l'épaisseur de la voûte. Dans les plates-bandes, la pression à la clef est égale au huitième du poids entier multiplié par le rapport de l'ouverture à l'épaisseur, ce qui est la moitié de la poussée horizontale trouvée ci-dessus.

On voit donc qu'il est avantageux de donner une petite longueur de coupe à la clef, puisque le centre de gravité de la partie supérieure descend d'autant, et que par conséquent la pression à la clef et la poussée sont d'autant moindres. Il suffit de donner à la clef une hauteur suffisante pour qu'elle ne s'écrase pas sous la pression, ce qui peut être utile dans un grand nombre de cas, surtout lorsqu'on est obligé de faire une arche très-grande sans pouvoir l'exhausser à volonté, parce qu'alors la moindre longueur de coupe est un moyen de diminuer la rampe du pont. On ne doit pas craindre que par cette diminution de coupe la solidité de la voûte soit diminuée, car elle est proportionnelle, toutes choses égales d'ailleurs, au rapport de l'ouverture à la flèche augmentée de la hauteur de la clef; et lorsque la somme de la flèche et de la hauteur de coupe reste la même, la voûte est d'autant plus solide, que la longueur de coupe de la clef est plus petite. On voit aussi que, pour comparer entre elles la hardiesse de plusieurs voûtes, quelle que soit leur figure, il faut comparer ensemble les expressions $p.\frac{kq}{Eq}.\frac{Dq}{Eq}$. On doit encore conclure de ce qui précède, que la soli-

dité de la voûte ne dépend pas seulement du plus ou moins de différence entre la corde et le développement de l'intrados, mais de la hauteur totale prise depuis la corde jusqu'au-dessus de la clef, ou bien en faisant passer une courbe *DED'* par les points qui servent d'appui aux parties principales de la voûte (fig. *c*). C'est le développement de cette courbe, par rapport à la corde *DD'*, qui constitue la solidité; tant que le mortier des joints ne la comprimera pas assez pour rendre la courbe *DED'* égale à la ligne droite *DD'*, la voûte se soutiendra; c'est ce que nous avons vu dans l'expérience XXIe. Si l'on connaissait la compression du mortier sous une charge donnée et après un temps déterminé, il serait possible de calculer le tassement de la voûte, en cherchant la plus grande ordonnée de la courbe *DED'*, dont le développement serait connu, et en retranchant cette ordonnée *GE'* de *GE*. Mais cette recherche exige qu'on connaisse la courbe *DED'*, qu'on peut supposer de même espèce sensiblement que celle de l'intrados, mais dont la nature ne peut se définir rigoureusement.

Au reste, on voit dans quelle erreur on est tombé jusqu'à présent en voulant connaître le tassement d'une voûte par la diminution du développement de l'intrados résultant du resserrement des joints. C'est la diminution du développement de la courbe *DED'*, et non de l'intrados *DGD'*, qui pourrait servir à le faire connaître.

(Fig. *d*.)

Nous expliquerons ici pourquoi la pose des voussoirs supérieurs fait détacher du cintre les voussoirs inférieurs, ainsi qu'on l'a observé dans la première expérience. Soit *H* le voussoir dont le centre de gravité répond au-dessus du point *I*. C'est à partir de ce point jusqu'à la clef que tout le poids est porté par le cintre, et nullement par les voussoirs inférieurs; ce sont donc les voussoirs *H,K,L,M*, etc., qui repoussent ceux qui sont au-dessous et qui les éloignent du cintre: dans les voussoirs *L,M,N,O,P,Q*, qui ne chargent nullement le cintre, et au nombre desquels sont compris nécessairement l'assemblage de ceux dont le centre de gravité répond au-dessus du point *R*, les voussoirs *K,L*, etc., tournant autour de leur arête inférieure, *I,B*, etc., et s'ap-

puyant sur ceux au-dessus, il faut que le moment de ceux-ci, par rapport au point R, soit égal au moment des voussoirs M,N,O,P,Q, par rapport au même point ; c'est sur cette condition qu'est fondée la détermination de l'arc DR, que nous avons vu, dans la première expérience, être de 37° 30′.

La première chose à déterminer pour la résolution des questions proposées sur l'équilibre des voûtes est le lieu précis des joints de rupture. Lorsque la figure de la voûte est donnée, cette détermination n'a rien de difficile : voici sur quoi elle est fondée. Une voûte se brise nécessairement dans le point le plus faible, c'est dans celui où la partie résistante et la plus faible, par rapport à la partie agissante. Il faut donc prendre le moment de la partie DE (fig. a) et celui de la partie DR, par rapport au point K, diviser l'un par l'autre, et égaler à zéro la différentielle du quotient, ce qui fera connaître le point D. Le calcul sera souvent fort long, à cause des quantités transcendantes qui naissent du cercle. Il sera plus expéditif d'employer une méthode d'induction, au moyen de laquelle on pourra déterminer les arcs de rupture dans tous les cas. On pourra aussi, par le même moyen, déterminer la plus petite épaisseur d'une voûte uniforme, et dans quel cas une voûte en arc de cercle a des points de rupture ailleurs qu'à la clef et aux naissances. Nos occupations ne nous ont pas permis de nous livrer à ces recherches, dont plusieurs sont plus curieuses qu'utiles.

Lorsque l'intrados de la voûte seulement est connu et qu'il s'agit de déterminer son extrados, afin qu'il y ait équilibre, la question est plus compliquée et ne peut se résoudre que par le calcul intégral. La résolution est toujours fondée sur le même principe, et le moment de la partie DE, par rapport au point K, doit être égal au moment de la partie DK.

Dans tout ce qui précède on n'a point eu égard à l'adhérence des mortiers, parce qu'une voûte doit se soutenir par elle-même, et que dans les premiers instans du décintrement les mortiers ne sont pas assez durs pour s'opposer à la rupture des voûtes.

Dans les voûtes en arc de cercle, telles qu'on en fait beaucoup aujourd'hui, la poussée n'agissant souvent que sur les assises supérieures des culées, ne serait pas contre-butée suffisamment, quelle que fût la

masse de ces culées, si les assises opposées à la poussée n'avaient pas une très-grande adhérence avec les assises inférieures. Ce cas, qui est celui des arches du pont de Nemours, m'a engagé à faire aussi des expériences sur la force d'adhérence des mortiers, afin qu'il n'y eût rien d'hypothétique dans l'application que nous nous sommes proposé de faire des principes établis dans le présent Mémoire. Ces expériences se trouvant liées avec les précédentes, et ne pouvant être qu'utiles, nous allons les rapporter.

EXPÉRIENCES

SUR L'ADHÉRENCE DES MORTIERS DE SABLE ET DE CIMENT.

Pour connaître l'adhérence d'une pierre posée sur mortier de chaux et de sable, on a employé quatre prismes de pierres de 5 pouces de haut et à bases carrées, dont les surfaces sont entre elles comme les nombres 1, 2, 3, 4; le plus grand de ces prismes a 64 pouces carrés de base, et le plus petit 16 pouces.

On a employé aussi quatre autres prismes de 5 pouces de hauteur et à bases rectangulaires de même surface que celles des bases des prismes précédens, mais dont une des dimensions de la base est double de l'autre. Huit prismes pareils aux huit premiers ont été fichés sur un lit de mortier de chaux et de ciment.

Le 15 mars 1800, à 5 heures du soir, les huit premiers prismes bouchardés sur leur base, sans ciselure au pourtour, ont été fichés sur une dalle de la même pierre aussi bouchardée avec du mortier composé d'un tiers de chaux éteinte depuis dix-huit mois, et de deux tiers de sable de carrière passé au crible et assez sec, quoique exposé à l'air depuis long-temps.

Les huit autres prismes pareils ont été posés sur la même dalle avec du mortier composé d'un tiers de la même chaux et do deux tiers de ciment passé au tamis.

Cet appareil, monté sur deux trétcaux, était dans une chambre dont l'air, sans cesse renouvelé, devait produire la même dessiccation dans le mortier que s'il eût été en plein air. Après seize jours d'un temps très-beau, les deux derniers seulement étant d'un temps pluvieux, on a commencé à détacher les prismes en les tirant horizonta-

lement par des poids placés dans un plateau de balance, au moyen d'une corde et d'une poulie de renvoi. Les mortiers étaient secs sans avoir acquis néanmoins la dureté et la consistance que donne une dessication lente.

Le premier tableau contient le résultat de chaque expérience.

Prismes fichés avec mortier de chaux et sable.

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	SURFACES des bases DES PRISMES.	DIMENSIONS des bases DES PRISMES.		POIDS qui ont détaché LES PRISMES.	POIDS des PRISMES.	OBSERVATIONS.
	pouces.	pouc. sur	pouc.	livres.	livres.	
1	16	4	4	159	8	
2	16	2,828	5,656	148	8,50	
3	32	4	8	340	16,25	
4	32	5,656	5,656	333	16,00	
5	48	4,898	9,796	541	23,75	
6	48	6,928	6,928	580	24,25	
7	64	5,656	11,312	920	33,75	
8	64	8	8	300	33,25	Cette expérience doit être rejetée

Prismes fichés avec mortier de chaux et ciment.

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	POIDS qui ont détaché LES PRISMES.	POIDS des PRISMES.	OBSERVATIONS.
	livres.	livres.	
1	60	8	Expérience incertaine.
2	110	8,25	
3	165	16,25	Incertaine.
4	115	16,25	Incertaine.
5	333	24,25	
6	165	25,00	Incertaine.
7	465	33,75	Le prisme a passé la nuit sous une charge de 300 livres.
8	549	33,00	

OBSERVATIONS

Sur le Mortier de chaux et sable. *Sur le Mortier de chaux et ciment.*

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

La pierre a été détachée au bout de seize jours par une charge de 159 liv. On avait commencé par une charge de 10 livres, et de minute en minute on l'augmentait d'une livre. La pierre s'est détachée en tournant sur son arête antérieure, ainsi que le mortier qui y était adhérent; l'arête postérieure s'est détachée du mortier, qui est resté adhérent à la dalle. La ligne de traction du poids était élevée de 9 à 10 lignes au-dessus de la dalle; la corde très-flexible était composée de sept fils, et l'axe de la poulie était de bois de hêtre poli au tour.

La pierre étant la même que celle posée sur mortier de chaux et sable, on a cru qu'elle résisterait au moins autant; c'est pourquoi on a placé sur le plateau un poids de 50 livres, sous lequel la corde s'est détendue et a produit une secousse qui a détaché la pierre.

Cette expérience est cotée incertaine.

IIe EXPÉRIENCE.

La pierre de même surface que la première, mais à base rectangulaire, s'est détachée de la même manière et avec le même appareil sous un poids de 148 livres.

Détachée sous un poids augmenté successivement jusqu'à 110 livres : on s'est servi de la petite ficelle et de l'axe de bois.

IIIe EXPÉRIENCE.

On s'est servi pour détacher la pierre d'une grosse ficelle et du même axe; elle s'est détachée de la même manière, sous un poids de 340 livres.

Détachée au troisième poids de 50 livres; expérience cotée incertaine, la charge ayant été trop subite.

IVe EXPÉRIENCE.

Comme la troisième, sous un poids de 333 livres.

Comme la troisième, détachée au deuxième poids de 50 livres.

Ve EXPÉRIENCE.

On s'est servi d'une petite corde et du même axe; la poulie frottait un peu contre la chape. Détachée sous un poids de 541 livres.

La charge a été portée successivement jusqu'à 333 livres. On s'est servi de la petite corde et de l'axe de bois.

VIe EXPÉRIENCE.

Quelques minutes après avoir complété la charge, détachée par 580 livres avec le même axe et la petite corde.

Détachée au troisième poids de 50 livres, cotée incertaine.

VIIe EXPÉRIENCE.

On a employé un axe de fer et une vieille corde de 10 lignes de diamètre, détachée après dix-huit jours, sous une charge de 920 livres. Le mortier était resté adhérent à la dalle, et paraissait former un plan incliné du devant au derrière de la pierre, par où l'on voit que la pierre se détache d'abord au derrière en tournant sur l'arête du devant.

On s'est servi d'une petite corde et de l'axe de fer. La pierre a passé la nuit sous une charge de 300 livres. Le lendemain 2 avril, elle s'est détachée sous un poids de 465 livres.

VIIIe EXPÉRIENCE.

Cette expérience est cotée incertaine, parce que la pierre s'est détachée subitement au sixième poids de 50 livres. On croit que la corde s'est allongée tout-à-coup et a produit une force vive.

On peut compter sur ces expériences, excepté sur la dernière. Les 1re et 2e ont été faites après seize jours; les 3e, 4e, 5e et 6e après dix-sept de dessiccation du mortier; les 7e et 8e après dix-huit jours. Les prismes à bases rectangulaires ont toujours été détachés dans le sens de la plus grande dimension de la base, la ligne de traction élevée de 8 lignes $\frac{1}{2}$ au-dessus de la dalle excepté dans les deux premières expériences.

On s'est servi de la petite corde et de l'axe de fer. La pierre a obéi sous une charge de 549 livres. Le mortier était comme écrasé et détaché également de la pierre et de la dalle. Ici, comme dans les expériences ci à côté, la pierre paraît tourner sur son arête antérieure et même écraser le mortier de cette arête; elle s'élève toujours au derrière, ou elle se détache du mortier qui reste adhérent à la dalle; il n'y a que les 2e, 5e, 7e et 8e expériences qui doivent être admises, les autres étant irrégulières. Même observation que ci à côté pour la ligne de traction et le temps de la dessiccation du mortier.

Les seize prismes, après avoir été nettoyés de l'ancien mortier, ainsi que la dalle, ont été fichés de nouveau le 5 avril, huit avec mortier de ciment et huit avec mortier de sable, mis à couvert depuis dix-huit mois. Le mortier a toujours été composé avec un tiers de chaux éteinte et deux tiers de ciment ou sable passés au crible, sans

aucun mélange d'eau. L'appareil était placé sous un hangar à l'air.

Après dix-huit mois de dessiccation, on a détaché les prismes. Les quatre premiers, fichés avec les deux espèces de mortier, ont été détachés avec une petite corde dont la résistance peut être négligée : on s'est servi, pour détacher les autres, d'une vieille corde de 10 lignes de diamètre. La poulie avait une boîte de cuivre et un axe de fer d'un pouce de diamètre. Les résultats sont consignés dans le deuxième tableau. On a remarqué, comme précédemment, que les pierres se détachaient en paraissant tourner sur leur arête antérieure, et en s'élevant par-derrière. La ligne de traction était élevée de 9 lignes au-dessus de la surface de la dalle.

Prismes fichés avec mortier de chaux et sable.

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	SURFACES des bases DES PRISMES.	DIMENSIONS des bases DES PRISMES.		POIDS qui ont détaché LES PRISMES.	POIDS des PRISMES.	OBSERVATIONS.
	pouces.	pouc.	pouc.	livres.	livres.	
1	16	2,828 sur	2,828	115	8,50	
2	16	4	4	52	8,00	
3	32	5,656	5,656	350	16,00	
4	32	4	8	416	16,25	
5	48	4,898	9,796	790	23,75	
6	48	6,928	6,928	794	24,25	
7	64	5,656	11,312	852	33,25	Il y a eu une légère secousse en posant le dernier poids de 12 livres.
8	64	8	8	865	33,75	

Prismes fichés avec mortier de chaux et ciment.

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	POIDS qui ont détaché LES PRISMES.	POIDS des PRISMES.	OBSERVATIONS.
	livres.	livres.	
1	52	8	
2	87	8,50	
3	130	16,25	
4	203	16,25	
5	377	25,00	
6	394	24,25	
7	515	33,75	
8	502	33,00	

Il résulte de ces expériences, surtout du tableau de celles qui ont été faites sur de grandes surfaces, que l'adhérence du mortier est proportionnelle à la surface; que le mortier de chaux et sable contracte plus d'adhérence que le mortier de chaux et ciment, lorsque l'un et l'autre sont employés à l'air; et après un temps assez long, que nous avons éprouvé être d'une année, comme on verra ci-dessous, la différence d'adhérence est presque la moitié; que l'adhérence du mortier de chaux et sable peut être estimée au moins à quinze cents livres par pied carré, et l'adhérence de celui de ciment à huit cents livres. Nous ne prétendons pas établir des régles générales sur cet objet. On conçoit que les qualités de la chaux, du sable et du ciment doivent influer beaucoup sur les résultats.

Le temps après lequel on détache les pierres doit y influer aussi;

cependant nous avons eu occasion d'observer que les différences d'adhérence provenant du temps ne sont sensibles qu'après un temps extrêmement long, et que l'adhérence, après le premier mois, est presque aussi grande qu'après les premières années. Nous avons remarqué aussi qu'après une année, la tenacité du mortier de ciment séché à l'air était moitié moindre que celle du mortier de sable, d'où nous concluons que les nouvelles maçonneries qui doivent porter latéralement une charge considérable, une arche de pont, par exemple, doivent être faites avec du mortier de chaux et sable, et non de ciment ; et que c'est à tort que les paremens des assises les plus élevées des culées de pont sont fichés en mortier de ciment, surtout lorsqu'elles surmontent les grandes crues.

Cette moindre tenacité du mortier de ciment employé à l'air n'a pas lieu lorsqu'il est employé dans l'eau. Deux pierres de 64 pouces carrés ont été fichées le même jour, l'une avec du mortier de sable et l'autre avec du mortier de ciment, et descendues aussitôt dans l'eau. Après seize mois, le mortier de la première était mou comme à l'instant de l'emploi, et un poids de cent quinze livres a suffi pour détacher la pierre, qui pesait trente-trois livres. Le mortier de ciment, au contraire, était extrêmement dur; dix quintaux n'ont pas suffi pour détacher la pierre, qui pesait aussi trente-trois livres, et le défaut de poids a obligé de lui imprimer une forte secousse pour la faire céder.

Nous avons eu l'attention de marquer les grosseurs des cordes, les axes des poulies dont on s'est servi dans chaque expérience, afin de pouvoir déduire les résistances qui en résultent, si on le jugeait nécessaire; le poids même de la pierre a été noté, afin qu'on pût y avoir égard ; car, de deux prismes de même surface, celui qui pésera le plus sera aussi le plus difficile à détacher. Il est assez naturel de croire qu'il faut déduire de la résistance donnée par l'expérience celle qui provient de l'inertie de la masse et du frottement, pour avoir la véritable mesure de la tenacité. En conséquence, nous avons fait les quatre expériences suivantes pour connaître la résistance des pierres posées les unes sur les autres sans interposition de mortier. On s'est servi d'une poulie de renvoi avec boîte de cuivre et axe de fer d'un pouce de grosseur, et d'une vieille corde de dix lignes de diamètre.

Expérience sur une surface piquée, de 3 pieds carrés, glissant sur une autre surface piquée.

1re Pression	$167^{liv.}$,50	frottement	$144^{liv.}$	frottement	0,8597.
2e *Idem.*	754 ,75		565	*pression*	0,7485.

Expérience sur une surface bouchardée, de 3 pieds 1666 carrés, glissant sur une surface semblable.

1re Pression	$167^{liv.}$,50	frottement	$128^{liv.}$	frottement	0,7641.
2e *Idem.*	754 ,75		572	*pression*	0,7578.

On voit que le frottement est proportionnel à la pression, et que le plus ou moins d'aspérités des surfaces influe très-peu sur le frottement, qui est les quatre cinquièmes de la pression. Si la pression était appliquée sur une superficie de mortier durci à l'air, les résultats seraient à-peu-près les mêmes, parce que le mortier très-dur a la même consistance que la pierre, et que l'engrenage des parties serait aussi difficile à vaincre. Nous n'avons pas fait courir nos pierres sur une surface de mortier, parce que le temps ne nous aurait pas permis d'en obtenir une assez dure, et qu'une pression un peu considérable eût écrasé les aspérités de celle que nous aurions employée, et formé un lit de sable sur lequel la pierre eût glissé sans beaucoup d'effort.

Nous allons faire, ainsi que nous l'avons dit, une application de nos expériences aux voûtes du pont de Nemours.

Ce pont est composé de trois arches de 50 pieds d'ouverture, 3 pieds 5 pouces de flèche, et 5 pieds de hauteur de coupe à la clef; les naissances sont à 13 pieds au-dessus de l'étiage et à 18 pieds au-dessus de la plate-forme. Les culées, au-dessus des retraites, ont 15 pieds 6 pouces d'épaisseur; elles sont en outre contre-butées par trois contre-forts de 16 pieds de longueur et de 6 pieds d'épaisseur. Nous n'aurons égard, dans la résistance des culées, qu'à la partie située au-dessus des retraites ou des basses eaux.

Le cube d'une demi-voûte est de 4524 pieds; son centre de gravité se trouve à 4 pieds de la ligne des naissances, et à 10 pieds du nu des culées. Le cube des culées et des contre-forts, pris au-dessus de la retraite, est de 16,045 pieds; son centre de gravité est éloigné de 12 pieds du nu de la culée;

Si l'on substitue ces valeurs dans la formule (*A*), on aura

$$4524 \text{ pieds} \tfrac{4}{6}\, 13 = 4524.\ 31 + 16{,}045.\ 12,$$

ou bien 163366 pieds = 332784.

Par où l'on voit que, relativement au mouvement de rotation de la culée sur son arête extérieure, la résistance est double de la puissance, à quoi l'on pourrait encore ajouter la résistance provenant des retraites et des murs de soutennement à laquelle on n'a pas eu égard.

Relativement au mouvement de translation de la culée sur le plan des retraites, en prenant, d'après l'expérience, les $\frac{4}{5}$ de la pression pour avoir le frottement, la formule donnera 12,566 = 16455.

Où la résistance est encore supérieure à la puissance même, en négligeant, comme ci-dessus, la résistance qui provient des murs d'épaulement.

Si l'on n'a égard qu'à la résistance des assises qui reçoivent immédiatement la poussée, on remarquera que leur surface est de 844 pieds, et leur cube de 5,908. Substituant les $\frac{4}{5}$ du cube de ces assises pour avoir le frottement, on aura 12566 = 4726.

D'où il résulte qu'en omettant la tenacité du mortier, les assises supérieures des culées seraient trois fois trop faibles pour résister par leur poids à la poussée.

Mais si l'on a égard à l'adhérence du mortier, à raison de quinze cents livres par pied carré, d'après l'expérience, et si l'on réduit la maçonnerie en poids, à raison de cent quatre-vingts livres le pied cube, la formule deviendra.

$$12556.\ 180 \text{ liv.} = 4726.\ 180 \text{ liv.} + 844.\ 1500 \text{ liv.}$$

ou bien 1176 = 1055.

D'où il suit que la résistance est égale à la puissance, et qu'elle ne doit pas l'excéder beaucoup, en faisant entrer dans le calcul les ré-

sistances des murs d'épaulement et celles de la partie des contre-forts qui se trouvent au-delà du nu des têtes du pont, sur 18 pouces de largeur pour chacun.

Ces calculs, dans lesquels il n'entre rien d'hypothétique, doivent rassurer sur la solidité des voûtes du pont de Nemours, et justifient en même temps les précautions que nous avons prises dans la construction des dernières assises, qui ont été faites en libages pleins, posés en liaison, tant avec les assises inférieures qu'avec celles des murs d'épaulement.

Nota. Le décintrement a été fait en décembre 1803.

TROISIÈME PARTIE.

Ayant été chargé, depuis 1806 jusqu'en 1814, de la direction des travaux maritimes des ports militaires d'Anvers et de Flessingue, je me propose de faire connaître les difficultés qui se sont présentées dans l'exécution de quelques-uns des principaux ouvrages que j'ai dirigés, ainsi que plusieurs systèmes de charpente que j'ai employés, soit pour la création d'un arsenal et d'un chantier de construction de la marine à Anvers, soit pour l'établissement des deux ports ci-dessus mentionnés.

EXTRAIT

DES PRÉCIS HISTORIQUES DES TRAVAUX DE LA CONSTRUCTION D'UNE FORME.

Deux formes pour le radoub des vaisseaux de haut bord devaient être construites aux deux extrémités du fond du grand bassin d'Anvers; l'une d'elle était très-avancée à la fin de la campagne de 1813, et aurait été achevée dans le cours de celle de 1814, sans les événemens politiques qui ont amené l'évacuation de la Belgique par les Français.

La construction d'une forme est, sans contredit, l'ouvrage d'art le plus difficile à exécuter, attendu la surveillance et les soins qu'il demande de la part des ingénieurs pour qu'il remplisse les conditions que sa destination exige. Ces conditions sont, non-seulement une solidité qui ne fasse craindre aucun mouvement dans aucune des parties du bassin, mais un étanchement parfait de ce bassin lorsqu'un vaisseau y est en radoub; le fameux bassin de Toulon et ceux de Rochefort sont loin de remplir cette dernière condition; mais il faut dire en même temps que le terrain sur lequel ces grandes constructions sont assises a pu

contribuer, par sa mauvaise qualité, aux mouvemens qu'elles ont éprouvés.

Le bassin de la forme dont il s'agit a 93 mètres de longueur à partir de son entrée, et 26 mètres de largeur entre les tablettes des bajoyers ou murs d'enceinte.

L'entrée a 14 mètres de largeur, au niveau du radier, et 20 mètres entre les tablettes des bajoyers.

La fondation sur pilotis et grillage, composé de longrines, recouvert d'un planeher de madriers, est faite de niveau sur 18 mètres de largeur, et se termine par trois retraites de chaque côté, dont deux on 1 mètre 60 de largeur et de hauteur, et la troisième 3 mètres 20 sur 1 mètre 60 de hauteur, en total 24 mètres 40 de largeur.

Les pieux de fondation sont espacés de 1 mètre 30 de milieu en milieu, et ont 0 mètre 30 de diamètre moyen.

L'entrée de la forme est construite pour recevoir un bâteau-porte au lieu de portes-écluses; on préfère aujourd'hui le premier moyen au second pour la facilité qu'on a de déplacer et de replacer le bâteau-porte à volonté. Lorsqu'un vaisseau est entré dans la forme, ce bâteau étant lège est conduit en place et présenté de manière que ses membrures, au nombre de deux de chaque côté, correspondent à deux rainures pratiquées dans le parement des bajoyers et du radier; maintenu dans cette position, on le charge d'un volume d'eau suffisant pour le faire échouer au moyen de petites vannes pratiquées dans chaque bord; ensuite on fait écouler l'eau qui est dans la forme au niveau de celle du bassin, ou par des vannes de vidange, ou on l'épuise au moyen d'une pompe à vapeur. Alors le bâteau-porte ayant à soutenir toute la charge d'eau du bassin se trouve avoir ses membrures fortement appliquées contre les parois latérales des rainures, et remplit les fonctions de portes-d'écluse.

Lorsque le vaisseau a reçu son radoub et qu'on veut le faire sortir, on introduit l'eau du bassin par les deux aqueducs pratiqués dans les bajoyers en tête de la forme; et lorsqu'elle est de niveau avec celle du bassin, on épuise l'eau introduite dans le bâteau-porte avec des pompes qui y sont établies à demeure : le bâteau, devenu lège, remonte dans ses rainures qu'il quitte facilement, sa façon étant plus large en

haut qu'en bas, et on le range de côté pour donner passage au vaisseau.

Mois de juin.

Épuisement.

L'épuisement de la fouille pour la fondation de la forme a été commencé le 4 juin 1813. L'eau était enlevée par quatre chapelets inclinés, et conduite dans les fossés de la place par l'écluse des pestiférés.

Le 11, un des quatre chapelets a été supprimé, et l'on a établi un second étage de machines à épuiser composé de deux chapelets et d'une vis d'Archimède.

Le 16, un troisième étage composé de deux chapelets a été établi.

Le 18 au soir, le fond du terrain était entièrement découvert : alors on a fait cesser le mouvement d'un chapelet à chaque étage, et les épuisemens ont été faits avec quatre pendant le reste du mois, savoir : deux au premier étage, un au second et un au troisième. Cependant l'augmentation des sources a obligé de faire manœuvrer de temps en temps un chapelet de plus aux derniers étages; les sources les plus fortes ont été encaissées et élevées à 60 centimètres environ au-dessus du niveau où elles s'étaient manifestées; des nivellemens faits avec soin ont démontré que ces sources n'avaient aucune relation directe avec les grands réservoirs d'eau environnant la fouille.

Le terrain étant découvert, on a fait des rigoles d'écoulement pour assécher les terres, et les déblais ont été commencés et continués pendant le reste du mois.

Un éboulement assez considérable s'est fait dans l'angle intérieur nord du bâtardeau; il paraissait dû à une filtration du bassin, ou à une source; son accroissement a déterminé à écrêter le bâtardeau de deux mètres de hauteur, en adoucissant le talus du côté de la forme.

Le déblai du puisard provisoire de la machine à vapeur a été commencé.

Tous les plans, dessins et profils nécessaires à l'exécution des travaux ont été remis à l'entrepreneur pour qu'il eût à s'y conformer, tant pour

la fourniture des matériaux que pour la façon et la main-d'œuvre de l'emploi.

Mois de Juillet.

Déblais.

Les déblais ont été continués avec toute l'activité possible ; une pluie abondante dans les premiers jours du mois les a beaucoup retardés, malgré le nombre de terrassiers porté successivement jusqu'à 250 : c'était le plus grand nombre qu'on pouvait employer sur un espace de 20 mètres de longueur et de 24 mètres de largeur.

Les déblais, parvenus à la côte, 11 mètres 20 au-dessous de la tablette des quais, ont été suspendus le 27, parce que la fluidité du sable entraîné par les sources situées au pied des talus, exhaussait le terrain au fur et à mesure qu'il était enlevé ; il devenait impossible de continuer la fouille sans employer quelque moyen préservatif dans son pourtour.

La file des pilots de rive de la première retraite des fondations qui devait être garnie de bordages verticaux, aurait formé un obstacle aux sables coulans ; mais la pose du bordage inférieur devenait elle-même impossible par la même raison ; on s'est déterminé à remplacer les bordages par des palplanches de 2 mètres de longueur, qui ont rempli le but proposé, et ont eu l'avantage d'arrêter les filtrations en soutenant le sable.

Les déblais, dans la partie de la tête de la forme, n'ont été poussés qu'à 10 mètres 76 au-dessous des tablettes des quais ; à cette profondeur les anciennes palplanches du mur de fond du bassin, après avoir pris à leur tête un ventre de 18 centimètres, mesuré sur les moises, ont été presque déchaussées, et il eût été imprudent de déblayer plus bas avant d'avoir battu la file de palplanches extérieures de l'encoffrement que l'on se proposait de construire et de remplir en terre glaise pour préserver l'avant-radier des filtrations de l'eau du bassin ; car l'expérience démontrait, par l'affouillement qui se faisait aux pieds des talus de la fouille, et par l'éboulement successif de ces talus, que pareil mouvement aurait lieu sur le bâtardeau ; dans ce cas les mouvemens de terre

devenaient beaucoup plus dangereux, et il était essentiel de s'en garantir : on s'est donc réservé de déblayer dans cette partie après l'entier achèvement de l'encoffrement.

On a eu surtout à se louer d'avoir fait enlever dans le commencement du mois, une partie des terres rapportées autrefois au pied du bâtardeau, parce qu'elles eussent beaucoup augmenté la poussée.

On a dit que les talus de la fouille s'affouillaient et s'éboulaient : cela arrivait particulièrement dans les parties où les sources débouchaient : l'eau entraînait le sable de l'intérieur des terres dans le fond des rigoles, et ce dépôt l'exhaussait de près de 11 centimètres par 12 heures. Ce fait a été constaté par un procès-verbal de la Commission des toisés de la marine, dans une expérience relative à un nouvel article inséré dans la soumission de l'entrepreneur pour terrassement des sables mouvans.

Epuisemens.

Les sources, d'abord très-considérables, étaient au nombre de six très-remarquables ; elles ont paru après l'enlèvement du dernier banc de coquillages.

La première s'est manifestée au pied d'nn des chapelets dn troisième étage ; elle était intermittente dans le commencement de son apparition ; son écoulement est devenu constant, et n'a point éprouvé de diminution, au moins sensiblement, quoique l'on épuisât 2 mètres en contre-bas, et à une distance horizontale de 8 mètres.

On a essayé d'encaisser plusieurs sources ; mais après s'être élevées de 50 à 60 centim., elles ont fini par s'ouvrir un passage dans les environs, et ont rendu l'encaissement inutile.

On a jaugé deux sources, l'une de 16 pouces de fontainier, et l'autre d'environ 24.

Dans le commencement du mois, un chapelet de prise d'eau suffisait ; mais les sources, au nombre de 10, s'étant considérablement accrues, deux chapelets avaient peine à entretenir l'épuisement, et les ouvrages ont été couverts d'eau plusieurs fois pour les moindres réparations des machines. On peut juger par la jauge de deux de ces sources, des peines et des soins extrêmes que les épuisemens ont exigés.

Deux cent soixante manœuvres, tant français que prisonniers espa-

gnols, ont été employés par jour au mouvement des chapelets. Trente manœuvres dragueurs ont été employés à la construction et à l'entretien des rigoles; on a été forcé de soutenir leurs bords par des files de petites palplanches moisées et battues à la masse.

L'entretien, la réparation et le mouvement des machines à épuiser ont exigé environ dix charpentiers par jour.

Quelques soins que l'on apportât au curage et à l'entretien des rigoles, l'écoulement de l'eau du fond de la forme était toujours gêné par l'exhaussement des sables, et l'on s'est décidé à poser un chapelet au fond de la fouille; par ce moyen on a pu déblayer plus bas dans cette partie.

Pilotage.

Dès le 7 du mois, on avait monté dans la fouille trois sonnettes, et leur nombre, qui a été en croissant au fur et à mesure que le déblai le permettait, a été porté jusqu'à 12, qui manœuvraient à la fois le 26.

Deux sonnettes ont été employées continuellement à battre les palplanches de l'encoffrement. Cet encoffrement a pour file intérieure de palplanches la deuxième ligne de pieux de l'avant-radier moisés à cet effet et retournés d'équerre en allant sous les fondations de la forme; les moises de ces parties en retour ont été enlevées avant la fin de l'ouvrage afin d'éviter les filtrations qu'elles auraient favorisées.

Les dix autres sonnettes ont été employées à battre les pilots de la rive de la première retraite et ceux de l'intérieur de la fondation de la forme.

La longueur de chaque pilot, sa fiche et son refus ont été inscrits sur un tableau général où chaque pilot a son numéro. Deux piqueurs ont été chargés d'en prendre attachement.

Les douze sonnettes ont été manœuvrées par trois cent quatre-vingt-quatre hommes; les pilots ont pris moyennement 3 mètres 70 cent. de fiche.

Mois d'Août.

Terrassemens.

On n'a point travaillé au déblai dans les premiers jours du mois; on attendait la fin du battage des pieux pour achever la fouille. On sait

que la fiche des pilots exhausse en général la surface des terres, et l'expérience l'a démontré particulièrement pour le terrain sablonneux de la forme d'Anvers.

Depuis le moment où le banc de coquillage avait été traversé, on éprouvait une grande difficulté à contenir les talus de la fouille, dont le sable coulait continuellement avec l'eau des sources. On a proposé de le contenir avec une file continue de petites palplanches formant ceinture autour de la première retraite des fondations. Cette mesure ayant été autorisée, on a commencé à la mettre à exécution le 6 avec quatre petites sonnettes, et le 15 la moitié de l'enceinte était garnie de palplanches.

Elles ont été d'un grand secours pour le déblai des terres rapportées par un événement arrivé le 13 de ce mois (1); on peut dire même que

(1) Cet événement est trop remarquable pour le passer sous silence; on va le rapporter succinctement.

La plus forte source du fond de la forme avait paru quelque temps après celles qui s'étaient manifestées autour et dans l'enceinte de la fouille à mesure que les terrasses avançaient. Son accroissement avait été lent, elle avait eu de fréquentes intermittences après lesquelles elle avait charrié du sable fin.

Ces intermittences annonçaient visiblement des éboulemens intérieurs; mais il était impossible de connaître quel était son réservoir. Le 11 août au soir elle avait donné de l'inquiétude; le 12 elle parut se ralentir; enfin, le 13, à six heures du matin, elle déboucha dans l'enceinte de la forme avec une telle abondance, et entraînait une si grande quantité de sable, qu'il était facile de prévoir que les chapelets employés ne pourraient bientôt suffire aux épuisemens. En moins d'une demi-heure, il se fit un tel éboulement de terre, et l'eau déboucha dans l'enceinte de la forme si abondamment, que les terrassiers et les ouvriers employés aux sonnettes n'eurent que le temps de se sauver, et bientôt toute l'enceinte de la forme fut remplie d'eau.

Il était bien probable que cette eau venait du fossé de la place. J'ordonnai d'y lancer un canot, et de sonder soigneusement au pied du mur de revêtement du rempart : on trouva une excavation sous la fondation du mur, de 7 mètres de longueur, qui s'étendait à 4 mètres au large du fossé.

Au moment où l'éboulement de terre s'était fait dans l'enceinte de la forme, une seconde excavation s'était faite au pied du parapet, sur environ 10 mètres de largeur au niveau du chemin couvert; une troisième excavation de même largeur à-peu-près s'était faite de l'autre côté de ce chemin à 5 mètres de distance; enfin à 2 mètres 50

sans cette file de palplanches, il eût été impossible d'enlever les terres dont il s'agit. Ce n'a été que le 19, six jours après l'événement relaté ci-contre, qu'il a été possible de commencer à enlever les terres rapportées; et le 28, la fouille des fondations était à-peu-près à la même profondeur où elle était au commencement du mois, à l'exception de la partie de la tête de la forme, qui a été approfondie à la côte 11 mètres 40 centim. au-dessous de la tablette des quais.

Le déblai des terres rapportées a été beaucoup plus long que celui du terrain naturel; la terre végétale, les débris de vieilles maçonneries et le sable qui provenaient de l'éboulement du 13, formaient un mélange semblable aux vases molles dont le transport était difficile.

Le battage des pilots exécuté jusqu'au 13 avec 11 sonnettes, a été interrompu jusqu'au 25, et a été repris à cette époque avec 4 sonnettes : on ne pouvait en placer davantage dans la fouille.

---

de cette dernière, il s'était formé, comme par enchantement, une tranchée de 35 mètres de longueur sur 11, 12 et 14 mètres de largeur, et environ 7 à 8 mètres de profondeur.

La partie de cet éboulement entraînée dans l'enceinte de la fouille des fondations de la forme a été évaluée à environ 2000 mètres cubes; mais il est à remarquer que l'eau débouchait dans cette enceinte sous une charge de 7 mètres de hauteur. On doit encore remarquer que le terre-plein entre le fossé de la place et la fouille de la forme avait 78 mètres d'épaisseur; que celui qui séparait la fouille du puisard de la pompe à feu et ce même fossé n'avait que 37 mètres, et qu'il a résisté.

La conduite souterraine que s'était faite l'eau du fossé de la place sous la fondation du mur de rempart étant connue, on s'est empressé de la remplir de terre de scorres après avoir réduit l'eau de ce fossé au plus bas possible; on a également élevé un massif en terre de même nature au pied du mur, en prolongeant ce massif à plusieurs mètres au-delà du périmètre de l'excavation.

Cet événement prouve que lorsqu'un ouvrage d'art est exécuté dans une localité qui oppose des difficultés inhérentes au terrain, et présente des chances qui font courir le danger d'éprouver des avaries, il faut que l'ingénieur soit sans cesse sur ses gardes, qu'il prévoie non-seulement ce qui lui est nécessaire en approvisionnemens, machines, équipages et ustensiles pour le courant du service, mais encore pour les cas imprévus dont il se voit menacé. Plusieurs personnes regardaient l'événement dont je viens de parler comme devant retarder les travaux d'une campagne; ils n'ont été interrompus que pendant quatre jours.

Encoffrement de l'avant-radier.

On a achevé dans ce mois le battage des palplanches de l'encoffrement dont on a parlé dans le précis historique de juillet. Cet encoffrement est compris entre deux files de pieux et palplanches assemblées à grains d'orge.

La file extérieure, c'est-à-dire, celle qui touche le bâtardeau, est la première ligne de pieux de l'avant-radier réunis par des palplanches de 15 centimètres d'épaisseur. Cette dimension était indispensable pour atteindre la profondeur exigée. Cette même file de pieux est retournée d'équerre, passe sous les fondations de la forme, et sert à retenir le terrain sous les fondations des murs de quai qui auraient pu être déchaussés.

La file extérieure des palplanches est battue sur la ligne des anciens pieux au pied du mur du quai. Ces pieux ont été rebattus de 80 centimètres afin de leur donner une fiche qui permît de faire le déblai à la profondeur indiquée par le projet de la forme.

On a commencé le 21 le remplissage de l'encoffrement en terre de scorres. Au fur et à mesure que l'on approfondissait la fouille, on voyait augmenter le danger qu'il y aurait eu à la déblayer ou même à la draguer à la profondeur requise sur toute la longueur à la fois.

On a donc pris le parti d'approfondir partie par partie, et de soutenir chaque fouille partielle par un remplissage peu élevé. On a commencé par l'angle du côté de la ville. Dès qu'on a eu atteint la profondeur à la côte, 11 mètres 40 centim. au-dessous des tablettes des quais, le déblai est devenu pour ainsi dire impossible par l'écoulement du sable qui remplaçait celui qu'on enlevait. Mais un inconvénient plus grave qui en résultait, était l'augmentation rapide des filtrations et l'affaissement du pied du bâtardeau, dont quelques parties tombaient dans le vide formé par le sable coulant. Les filtrations devenaient si abondantes que leur communication avec les eaux de l'arrière-bassin était évidente. Il a fallu travailler avec une grande promptitude et sans relâche pour étouffer une partie des filtrations.

On voit par ce qui précède qu'il eût été bien dangereux de chercher

à donner plus de profondeur à l'encoffrement, et qu'il avait fallu ne pas perdre de temps entre le déblai et le remplissage : celui-ci a été achevé le 27, sur toute la longueur et la hauteur de l'encoffrement.

Dans la matinée du 2, la digue du quatrième étage de chapelets, ayant 8 mètres d'épaisseur, a été percée à sa base par l'eau du puisard du troisième étage. Cet accident est dû à la grande perméabilité du terrain, et à la position d'une source considérable qui débouchait dans ce puisard, comme on l'a déjà dit (précis historique du mois de juillet), et dont l'eau a suivi les ramifications.

Les épuisemens ont été interrompus pendant quatre heures, et l'on a profité de cette interruption forcée pour former un corrói de terre glaise qui a préservé de pareil accident cette partie de la digue.

Pendant le repos des machines à épuiser, l'eau est montée de 1 mètre dans l'enceinte des travaux de la forme.

Le 5, la grande source qui sortait du fond de la forme ayant été rencontrée dans sa route souterraine par la fouille de l'aqueduc, a cessé de couler par le talus de la forme, et a commencé à déboucher par le talus de l'aqueduc. C'est cette source qui a occasioné l'événement du 13 août.

Les épuisemens ont été arrêtés depuis le 13 au matin jusqu'au 15; le 16 ils ont été repris à 6 heures du matin, et le 19 à la même heure toute la fouille de la forme était découverte.

Toutes les sources qui existaient avant l'événement dont on a parlé se sont montrées de nouveau, excepté celle qui l'avait produit; mais elle a reparu dans la matinée du 27, à la même place où elle était avant le 5, c'est-à-dire dans le fond de la forme.

Le 19 au soir, une source qui existait depuis long-temps dans le massif même de la digue du quatrième étage de chapelets, et qui dès le 14 juillet avait été encaissée et conduite hors de la digue par une buse en bois, a commencé à donner un produit dix fois plus considérable que celui du matin du même jour. Elle charriait une grande quantité de sable et avait des intermittences dues évidemment à des éboulemens intérieurs; tout indiquait qu'elle finirait bientôt par emporter le corps de la digue. Dans un tel état de crise on résolut de l'arrêter en fermant exactement la buse, pour la forcer à prendre une autre

direction. Cela est effectivement arrivé ; quelques heures après la fermeture de la buse, elle s'est fait un passage au-dessous de la digue. Son produit est resté constant, et elle n'a plus amené de sable. Alors il a fallu penser à assurer la solidité de la digue ; on y est parvenu en soutenant son pied par un rang de palplanches jointives à grains d'orge qui environnait également le puisard des chapelets du quatrième étage et se réunissait aux palplanches d'enceinte de la forme.

Une autre source assez considérable, et qui n'existait pas avant le 13, s'est montrée dans l'un des angles du puisard de la pompe à feu. Sa proximité avec l'eau des fossés de la place donnant des craintes, on a fait un petit barrage dans la fouille de l'aqueduc qui forçait l'eau à s'accumuler dans le puisard ; la hauteur à laquelle elle s'est élevée comprimait la source, diminuait son produit et empêchait l'écoulement du sable. On a pris aussi une autre précaution en prolongeant des deux côtés la file de palplanches qui faisait le fond du puisard provisoire, et en remplissant en terre de scorres la partie où est situé le pilotis du fourneau.

Une autre source située dans l'angle opposé à celui d'où est sortie celle qui a eu communication avec les fossés de la place, s'est aussi montrée, mais à une hauteur plus grande qu'elle n'avait paru la première fois. Cette source a toujours été la plus considérable ; avant le 12, elle s'est trouvée naturellement encaissée par l'éboulement des terres ; on l'a conduite par une rigole au puisard du troisième étage de chapelets.

Depuis l'événement du 13 août, deux chapelets ont suffi pour tenir la fouille de la forme à sec : cependant, comme plusieurs sources amenaient du sable, et notamment celle qui avait paru le 27 et sur laquelle on devait principalement porter son attention, on a senti la nécessité de prendre des mesures qui pussent diminuer leurs progrès insensibles.

Un système général de palplanches d'enceinte était le moyen le plus efficace d'arrêter l'écoulement du sable qu'entraînaient les sources, de prévenir les suites funestes qui en résultaient ordinairement, et de faciliter les fondations de la forme de l'aqueduc. Les différentes dispositions à prendre à cet égard ont fait le sujet d'un rapport de l'ingénieur en chef, qui, vu l'urgence, ordonna de les mettre à exécution.

19

Quels que fussent les moyens que l'on se proposait d'employer, on ne pouvait se dissimuler qu'il était impossible de répondre qu'un événement semblable à celui du 13 août n'arrivât pas de nouveau : tous les points de la fouille des fondations de la forme étaient menacés du même danger; les épuisemens étaient en lutte continuelle avec les réservoirs d'eau environnans, tels que l'arrière-bassin, l'eau des fossés de la place, celle des blanchisseries et celle de la fouille de la deuxième forme; il était donc urgent d'abréger le plus possible le temps des fondations.

Pompe à feu.

On a battu les pilots de la fondation du fourneau; le grillage et la plate-forme ont été posés; on a commencé la maçonnerie de briques.

OBSERVATIONS

DE L'INGÉNIEUR EN CHEF, MISES A LA SUITE DU PRÉCIS HISTORIQUE DONT L'EXTRAIT PRÉCÈDE.

On voit par le précis historique ci-dessus, et ceux qui l'ont précédé, quelles difficultés présente le terrain pour la fondation de la forme. L'ingénieur en chef a employé tous les moyens qui ont dépendu de lui pour porter la fouille au degré de profondeur indiqué par le projet approuvé par le Ministre; mais après avoir épuisé toutes les ressources que l'art peut indiquer dans une circonstance aussi difficile, il a été obligé de faire au projet les modifications désignées par le profil ci-joint d'une partie de la coupe en longueur (1). Au moyen de ces modifications, qui ne peuvent altérer la solidité de la fondation de la forme, on ne sera point obligé de baisser le quatrième étage de chapelets, d'approfondir les rigoles d'écoulement des eaux, d'augmenter le talus de la fouille dont on n'aurait pu arrêter les éboulemens sans l'emploi de palplanches battues sur la face verticale de la deuxième banquette.

(1) Ce profil était joint au précis historique adressé au Conseil des travaux maritimes.

On remarquera que la partie la plus faible du radier du bateau-porte a 2 mètres 40 centim. d'épaisseur de maçonnerie au-dessus de la plate-forme, la même que celle donnée par le projet à la fondation des aqueducs; que dans l'emplacement du bateau-porte il a 2 mètres 80 cent., et que sur environ un tiers de sa longueur ce radier a 3 mètres; enfin que le radier de la forme a 1 mètre 80 cent., ce qui ne diffère du projet que de 20 centim.

L'ingénieur en chef a pris toutes les mesures possibles pour porter la fouille de l'encoffrement construit en avant de l'entrée de la forme et rempli en terre glaise, à la profondeur de 12 mètres 20 centim., au-dessous de la tablette des quais du bassin, comme le prescrit le projet. Il a été impossible de porter cette profondeur à plus de 11 mètres 40 cent. Il est indubitable qu'on se fût exposé à de beaucoup plus grands affaissemens que ceux qui ont eu lieu au pied du bâtardeau, si l'on n'eût pas arrêté très-promptement les filtrations de l'eau du bassin qui entraînait avec elle une quantité considérable de sable.

On verra pas le profil que la fouille de l'encoffrement est portée au-dessous du deuxième banc de coquillage, celui qui sert de conducteur à toutes les sources qui débouchent dans la fouille de la forme. On remarquera enfin que l'ingénieur en chef a pris la précaution de faire battre une file de palplanches de deux mètres de longuenr vis-à-vis chaque retraite qu'on est obligé de faire dans la fondation du radier du bateau-porte, et que les palplanches battues en travers de ce radier descendent beaucoup plus bas que n'aurait descendu le corroi de terre glaise dans l'encoffrement, en l'exécutant suivant le projet : ces moyens lui paraissent devoir lever toute inquiétude relativement aux modifications qu'il a été forcé de faire, et dont il vient de rendre compte.

Mois de septembre.

Déblais.

La fouille du milieu de la forme avait été terminée dans les derniers jours du mois précédent; on a continué le déblai à la tête et au fond dans les premiers jours de septembre; le déblai total a été achevé le 9.

Pilotage.

Le battage des pilots du premier plancher a été continué avec cinq sonnettes au lieu dè quatre seulement qui avaient pu être employées dans le mois d'août ; le pilotage a été terminé le 8.

Du 7 au 16, on a battu les pilots de la seconde retraite de fondation des bajoyers ou murs d'enceinte de la forme.

On a jugé nécessaire de rebattre généralement les pilots de fondation, qui portent un poids plus considérable que ceux du radier, et qui sont recépés à 2 mètres au-dessus du terrain naturel.

On avait achevé, le 5, le battage des petites palplanches d'enceinte, et le 15, celui de la troisième file de palpanches de deux mètres de longueur en travers de l'axe de la forme qui va d'un pan coupé à l'autre. On remarquera qu'au moyen des précautions ordonnées par l'ingénieur en chef, la fondation du radier de la forme et celle du bateau-porte sont entourées de palplanches jointives, et qu'indépendamment de cette enceinte, deux files de palplanches sont battues en travers et recépées au niveau du grillage en tête de la forme du côté du bassin.

Charpente du Grillage.

Le 1er septembre, on a commencé la pose des moises du grillage du radier de la forme et de celui du bateau-porte.

Le 28, les longrines et le plancher qui les recouvre étaient posés et calfatés. Ce plancher était parfaitement étanche.

Le 30, la charpente de fondation du radier du bateau-porte était presqu'achevée sur toute la largeur de la forme, et les $\frac{14}{15}$ des petites moises du plancher de la première retraite étaient posés.

Remplissage en terre glaise.

Dès que les palplanches d'enceinte ont été battues autour de la forme, on a établi un corroi de terre glaise derrière ces palplanches jusqu'à la profondeur du plancher ; ce corroi de terre glaise a arrêté les pe-

tites sources et a beaucoup facilité la pose de la charpente du grillage et de la maçonnerie.

Les intervalles des moises ont été également remplis en terre glaise. Ce remplissage a été exécuté en commençant par les côtés et en avançant vers l'axe de la forme, où l'on avait ménagé une rigole par laquelle s'écoulait l'eau de toutes les sources. On jugera qu'on a dû la fermer promptement en achevant le plancher du grillage, qui a été construit en suivant la même marche.

Sources et Epuisemens.

On avait cru pouvoir étouffer subitement le produit des sources qui alimentaient la rigole; mais l'eau ayant pénétré en plusieurs points le remplissage en terre glaise vers la tête de forme, on a reconnu qu'il serait plus prudent de lui laisser un passage le long des petites palplanches d'enceinte du côté du chapelet; en conséquence, on a coupé les abouts des moises qui touchaient ces palplanches, et l'eau a coulé librement en se rendant de la tête et du fond de la forme dans le puisard du quatrième étage de chapelets.

Les deux sources qui étaient du côté de la ville et qui ne pouvaient arriver à cette rigole latérale, ont été élevées et conduites dans des auges placées au-dessus de la maçonnerie.

Partie des eaux venant de la tête de la forme s'écoulait par la rigole du côté des chapelets, et partie du côté opposé était élevée par une pompe, jusqu'à ce que la maçonnerie ait été assez haute pour qu'on essayât d'étouffer les eaux : on l'a fait avec succès.

Quoique les sources fussent comprimées et diminuées, leur produit n'en exigeait pas moins deux chapelets de prise d'eau, qui ont été relevés successivement à mesure que l'élévation de la maçonnerie le permettait.

Le 1er septembre, on a jaugé la source qui avait occasioné l'événement du 13 août, et qui avait reparu le 27 du même mois : son produit s'est trouvé de 14 pouces de fontainier.

Le 3, elle avait un peu diminué; mais le même jour elle a cessé subitement de couler après le battage du premier panneau de palplanches

de la fondation de l'aqueduc, qu'on avait placé exprès dans la direction de cette source : elle n'a pas été revue depuis ce moment.

Maçonnerie.

On a commencé, le 17, la maconnerie du radier du bateau-porte; elle a été interrompue le 23, afin d'achever la charpente de la partie adjacente au radier de la forme; elle a été reprise le 27 sur les trois quarts de la surface du radier; on y a employé soixante-dix maçons. A la fin du mois, la maçonnerie faite s'élevait à un cube d'environ huit cents mètres.

On a apporté tout le soin possible dans la façon de cette maçonnerie et dans le choix des matériaux. On a surveillé particulièrement la partie du radier qui est sous la cunette.

On a vu, dans les observations qui précèdent le précis historique du mois dernier, que l'on a été obligé de descendre par retraite partie du grillage du bateau-porte jusqu'à celui de la forme, et que celui-ci même a été fondé de 20 centimètres moins bas que ne l'indique le projet; on a pu au contraire baisser les parties du grillage du bateau-porte qui se trouvent sous les aqueducs; et attendu que les retraites latérales de la fondation de la forme devaient se raccorder avec la maçonnerie du mur de quai existant, il était avantageux de les mettre au même niveau que les fondations de ce mur. Cet abaissement a paru d'autant plus convenable que, de cette manière, les fondations de ces retraites sont au niveau du fond de l'arrière-bassin; tandis qu'elles auraient été à 50 centimètres au-dessus si l'on eût suivi le projet approuvé.

Le déchaussement des arrachemens des murs de quai n'a présenté aucune difficulté. On a trouvé de chaque côté de très-petites filtrations qui s'étaient établies à travers le bâtardeau, le long des moises qui règnent au pied du mur du fond du bassin; elles ont été étouffées facilement, en remplissant de terre glaise mêlée de chaux en poudre l'intervalle entre les moises de retraites.

Aqueduc.

Le 3, on a commencé à battre les palplanches d'enceinte de l'aqueduc. Le battage n'a pu être exécuté dans le commencement avec toute la célérité qu'on lui a donnée depuis, parce qu'il a fallu un certain temps pour approvisionner, débiter et tailler en grain d'orge quatre cents palplanches dont on n'avait pu prévoir le besoin.

L'expérience ayant démontré, à la tête de la forme, que les palplanches qui avaient à traverser le banç de coquillage ne pouvaient prendre 4 mètres de fiche sans se disjoindre, on a d'abord donné à celle de l'aqueduc 3 mètres de fiche, après quoi l'on a déblayé un mètre et demi environ entre les deux rangées qui devaient encaisser la fondation de l'aqueduc.

Mois d'octobre.

Terrassemens.

Les terrassemens exécutés dans le mois d'octobre consistent en remplissage au-dessous des petites moises du plancher de la première retraite de fondation derrière les bordages verticaux. Le remblai a été fait en terre de scorres près des bordages, et il a été terminé en terres grasses des environs de la fouille de la forme.

Bâtardeau.

L'ordre ayant été donné, dans le mois précédent, de rétablir l'eau dans le bassin pour l'entrée des vaisseaux au mois d'octobre, on a continué l'exhaussement du bâtardeau commencé dans le mois de septembre, et l'on a rechargé le sommet de celui de la seconde forme projetée. On a suivi le système déjà adopté en faisant les deux talus en terre de scorres et l'intérieur en sable.

Deux tranchées ont été faites pour découvrir et couper la semelle des poteaux de garde du quai de la machine à mâter les vaisseaux; la partie de chaque bâtardeau adjacente au quai a été remplie en

terre glaise; cette précaution a détruit les filtrations qui avaient lieu le long du mur, et qui se manifestaient dès que l'eau, dans le bassin, était au-dessus de la semelle.

Le 15, on a mis 20 pieds d'eau dans le bassin; le 25, on y a fait entrer 1 pied 6 pouces de plus; les bâtardeaux ont supporté cette charge sans faire aucun mouvement.

Sources, Epuisemens, etc.

Le 3, la source située du côté de la ville, en face des chapelets, ayant été exhaussée et par là beaucoup diminuée, on a cru pouvoir supprimer un chapelet à chaque étage, en augmentant le nombre d'hommes manœuvrant le chapelet restant; mais il a été impossible d'entretenir les épuisemens, et l'on a été obligé de revenir à deux chapelets: cependant, comme celui du quatrième étage était moins incliné que les autres, et qu'il ne recevait pas les sources du fond de la forme, il a suffi d'augmenter le nombre de manœuvres pour qu'il entretînt l'épuisement à lui seul.

Le 7, les sources étaient diminuées, et l'on a voulu diminuer aussi le nombre des hommes employés au mouvement des chapelets; mais les grandes pluies des 8, 9, 11, 13 et 17 ont forcé de suite à le laisser tel qu'il était avant l'essai tenté.

La petite rivière de Skeen s'étant considérablement accrue, les eaux n'ont pu dégorger par l'écluse St. Laurent, et elles ont élevé le niveau de celles des fossés de la place à la hauteur de demi-marée.

D'un autre côté, les eaux du bassin ayant été retenues à la hauteur de pleine mer depuis le 15, il ne serait pas surprenant que le produit des sources soit resté le même, quoiqu'on épuisât alors à une moindre profondeur.

L'infiltration des eaux pluviales et les différens niveaux auxquels on a épuisé pendant le mois, rendent incertaine toute observation sur le produit général des sources, et l'on ne peut dire jusqu'à quel point elles ont été augmentées par le surcroît de pression des grands réservoirs environnans.

Pilotage.

Le battage et rebattage des pilots de la troisième retraite ont été terminés vers le milieu du mois : alors était achevée la partie de pilotage de la forme qui devait être faite en 1813.

Grillage des Retraites.

On a achevé toute la charpente et les bordages des retraites qui devaient être faits en 1813

Maçonnerie.

La maçonnerie de briques du radier et de la première banquette a éprouvé beaucoup d'interruptions ; elle a été suspendue les 3, 8, 9, 10, 11, 13 et 17 par la pluie, le 30 par la gelée du matin. Depuis le 20, on n'a employé que 30 maçons au lieu de 60 qui travaillaient au commencement du mois, parce que ce n'a été que le 25 qu'on a eu connaissance d'un supplément de fonds de 150,000 fr. affecté à l'achèvement de la maçonnerie de la forme jusqu'à la seconde banquette.

On a vu, dans le précis historique du mois précédent, que l'on avait laissé un vide entre la maçonnerie et les petites palplanches au pourtour du radier pour former une rigole d'écoulement aux sources qui existaient en dedans de l'enceinte des palplanches. Lorsque la maçonnerie a été élevée à la hauteur d'un mètre au-dessus du plancher du grillage, on a pensé qu'en achevant précipitamment la maçonnerie dans cet intervalle on comprimerait les sources par un remplissage, et qu'on les forcerait à prendre une autre direction : en conséquence, on a formé de petits barrages en terre glaise pour exécuter ce remplissage par partie ; l'eau qui arrivait entre ces barrages était enlevée par de petites pompes ordinaires. On avait la facilité de maçonner à sec, ou du moins dans une eau dormante.

Les petits puisards dans lesquels étaient placées les pompes ont été remplis immédiatement avec un beton composé de mortier de trass et

20

de débris de briques; au moment de le couler on y ajoutait de la chaux vive avec du trass.

La fermeture de cette rigole n'a été faite que le 15; ainsi la maçonnerie du fond de la cunette de la forme, commencée le 27 septembre, n'a été soumise à la pression des sources que vingt jours après la construction.

Les eaux des sources ayant été forcées de changer de débouchés, n'en ont pas moins alimenté le puisard du quatrième étage de chapelets; elles s'y rendaient en passant en siphon sous les moises du grillage de fondation. On ne doit point être étonné de cette communication, parce qu'il est impossible de remplir le dessous des moises aussi facilement que le dessous des chapeaux. La pose des moises, rapprochées horizontalement l'une de l'autre par les boulons, exige que ces pièces soient placées successivement avant le remplissage en terre glaise, tandis que les chapeaux peuvent être enfoncés à la masse dans un remplissage qui affleure le dessus des tenons des pilots, lesquels, d'ailleurs, sont autant d'obstacles pour les filtrations le long des chapeaux.

La première pierre du radier du bateau-porte a été posée le 11, et celle de la cunette de la forme le 12; la cunette était aux trois quarts faite à la fin du mois, et le radier du bateau-porte à-peu-près au tiers.

Pompe à Feu.

On a achevé le battage des palplanches du puisard, et l'on a déblayé l'intervalle compris entre elles. Des palplanches battues avec une si grande fiche, quoiqu'assemblées à grain d'orge et de 16 centimètres d'épaisseur, laissent toujours assez de vide entre elles pour le passage d'une petite quantité de sable, et, à plus forte raison, ne peuvent-elles empêcher celui de l'eau des sources environnantes. On a donc pensé que le puisard de la pompe à feu, après quelque temps d'épuisement, serait bientôt devenu le point auquel se seraient rendus toutes les sources et le sable des terrains voisins; dès-lors il n'y aurait eu aucune sécurité pour la solidité du fourneau de la cheminée, du mécanisme et du puisard même. Les inconvéniens auraient pu devenir encore plus graves au bout de quelques mois, si l'on considère la proximité des

eaux des fossés de la place : il fallait donc rendre le puisard impénétrable aux sources extérieures, et ne lui donner communication qu'avec l'aqueduc. Pour arriver à ce but, on a fait construire une caisse de 30 pieds de longueur, 6 pieds de largeur et 8 pieds de profondeur; elle est ouverte du côté de l'aqueduc. Cette caisse est formée par de forts châssis sur lesquels sont cloués des bordages de 3 pouces d'épaisseur, bien calfatés en dehors; son poids est de dix-huit milliers; elle a été assemblée au-dessus du puisard; des apparaux convenables avaient été installés pour l'enlever et la descendre de suite dans le puisard, dès que le fond de celui-ci serait préparé pour la recevoir.

Le déblai du puisard avait déjà été commencé le 12; mais on avait été forcé de l'abandonner à l'apparition de plusieurs sources considérables venant du fond. Il était prudent d'arrêter le déblai, parce que la caisse n'était pas encore construite, et qu'alors l'eau des fossés de la place était très-haute, par les raisons que l'on a exposées précédemment.

Dans la soirée du 27, toutes les palplanches du puisard étant battues à profondeur, la caisse étant achevée et disposée à être descendue, on a recommencé le déblai; il a été continué sans relâche jusqu'au lendemain 28. Sur les trois heures après midi l'approfondissement devenait insensible par le rapport du sable; des affouillemens assez considérables avaient lieu à l'extérieur des palplanches : on s'est décidé à descendre la caisse pour prévenir tout accident.

Le fond du puisard avait été approfondi à la côte 10 mètres 60; mais le temps nécessaire pour regaler le fond, enlever les échafauds, les étançons, et descendre la caisse, a suffi pour produire un exhaussement de 10 centimètres. Comme le fond de la caisse a aussi 10 centimètres d'épaisseur, il s'est trouvé que l'intérieur est à la côte 10 mètres 40, c'est-à-dire 44 centimètres en contre-bas de la naissance du fond de la cunette de la forme. Ce puisard n'était que provisoire, en attendant qu'on en construisît un commun aux deux formes.

Mois de Novembre.

On a fait le remplissage en terre glaise sous la deuxième retraite des fondations.

Au 30 novembre, il ne restait à battre qu'une centaine de pilots de fondations des murs d'enceinte de la forme; ils ont été battus avec quatre sonnettes.

La maçonnerie de brique a été arrasée au niveau du dessous des moises et de la seconde retraite.

Les pierres de taille de la cunette de la forme ont été entièrement posées; celles du radier du bateau-porte n'ont pu l'être que sur la moitié de la surface entre la tête et la première rainure. On a également élevé la maçonnerie en pierre de taille de la tête de la forme, et celle qui fait continuation du socle du mur du fond du bassin.

On a posé les gisents du plancher qui doit recouvrir le radier de la forme, et l'intervalle entre chacun a été rempli en briques de Gueldre posées de champ.

Les gisents du plancher du radier qui sont situés entre les parties courbes de la forme, ayant une assez grande portée, ont été retenus à leur extrémité vers la cunette par un boulon vertical à vis et écrou. Celui-ci est scellé dans une pierre de taille noyée dans la maçonnerie de brique du radier, et dont les faces sont taillées en queue d'aronde. Le boulon qui fixe les gisents contre le radier en maçonnerie permet leur remplacement en cas de réparation. On peut employer ce moyen dans toutes les circonstances où un plancher sur grillage risque d'être soulevé et rompu par la pression de l'eau qui s'introduirait dessous (1).

La maçonnerie a été arrêtée le 25.

On a achevé la pose des petites moises de la seconde retraite des fondations; on les a recouvertes de bordages, et on a élevé les bordages verticaux qui forment la troisième retraite.

Le 7, la maçonnerie s'est trouvée assez élevée pour permettre la suppression des chapelets du quatrième étage.

(1) Ce moyen très-simple peut être employé également pour affermir et fixer d'une manière invariable sur pilotis, un grillage recouvert d'un plancher sans autre charge; la partie des boulons scellés dans la pierre doit, dans ce cas, être disposée en tire-fond pour entrer dans la tête du pilot. En cas de besoin, on frettrait la tête du pilot avant de disposer le trou du tire-fond avec une tarière moins grosse que lui.

La profondeur des épuisemens devenue moins grande a permis également de supprimer un chapelet aux deuxième et troisième étages, en augmentant pour chacun le nombre des épuiseurs. Le premier étage a toujours eu deux chapelets, parce qu'il épuisait l'eau des sources du bâtardeau et celle de la deuxième forme, qui avaient un peu augmenté.

La grande pression que supportait le bâtardeau de la forme en construction, par l'introduction de l'eau dans le bassin, avait probablement contribué à l'augmentation de l'affouillement de son pied du côté de la machine à mâter, la filtration qui avait lieu de ce côté ayant été sans doute fermée par quelques petits éboulemens intérieurs, est venue paraître dans une autre partie. On s'est décidé à soutenir le pied de ce bâtardeau par un rang de tunage et de fascinage.

RÉSUMÉ

DES TRAVAUX EXÉCUTÉS AU BASSIN A FLOT PENDANT L'ANNÉE 1813.

Première Écluse.

Les tablettes de couronnement des chambres du pont tournant ont été achevées telles qu'elles avaient été projetées anciennement, ainsi que les coulisses dans lesquelles se logent les crémaillères qui servent à l'ouverture des portes. Ces ouvrages ont parachevé la première écluse, qui n'a plus besoin que d'être entretenue.

Il a été fait aussi aux portes busquées de cette écluse des réparations importantes. On sait que la principale liaison du poteau tourillon avec l'entretoise supérieure consiste en une équerre dont la branche horizontale est boulonnée sur la face supérieure de cette entretoise, et la branche verticale est encastrée dans le poteau-tourillon; cette dernière branche passait en dedans du collier et frottait contre lui lorsque la porte manœuvrait. Cette équerre était cassée au coude, dans les quatre venteaux des portes d'Ebe. Comme la branche horizontale retient l'extrémité de l'écharpe, la rupture de l'équerre rendait l'écharpe inutile. On a remplacé ces équerres. Cette opération, qui n'était pas sans inconvéniens, a été faite avec succès. On a soutenu chaque venteau par un ponton

amarré au poteau busqué, un peu avant l'étale de pleine mer, ce qui a donné la facilité de caler l'entretoise inférieure et d'ouvrir le collier. L'ancienne équerre a été enlevée et portée à la forge pour en faire une nouvelle exactement semblable; celle-ci a été corroyée différemment, pour éviter le même accident. On a remarqué à cette occasion, par la difficulté que l'on a eue à enlever les boulons qui ferment les charnières des colliers, qu'il est inutile et même nuisible de donner au boulon un diamètre exactement égal à celui du trou des charnières, et qu'il est avantageux de laisser une à deux lignes de jeu : on a fait repasser les boulons au tour afin de leur donner ce jeu.

On a cru devoir consigner ici ces opérations parce qu'elles ne sont pas fréquentes.

Passe entre les Musoirs.

Les machines à draguer ont enlevé cinq mille mètres cubes de vase et sable, tant dans la passe entre les musoirs qu'à la tête de ces musoirs, où il restait encore quelques parties de fascinage du premier bâtardeau sur lesquels les vaisseaux touchaient quelquefois en entrant, et surtout en sortant du bassin.

Ces dernières parties ont été enlevées avec soin; elles se trouvaient situées un peu extérieurement aux musoirs, et dans le courant de l'Escaut.

Mais l'attérissement était considérable en dedans du musoir; l'eau des bassins ayant été maintenue au niveau de basse-mer pendant les mois de juin, juillet, août et septembre, l'envasement pendant ces quatre mois, où l'on n'a pu faire chasser l'écluse, a été d'une hauteur réduite de trois pieds sur toute la surface comprise entre les musoirs et la tête de l'écluse; ce qui donne un volume d'environ trente-neuf mille pieds cubes de vase, lesquels ont été enlevés en quinze jours, savoir : quinze mille pieds cubes avec les machines à draguer, et vingt-quatre mille au moyen des chasses, sans compter le rapport des marées pendant ces quinze jours de travail.

Le plus grand envasement a eu lieu dans l'axe de l'écluse, et par conséquent de la passe; il était au maximum de sept pieds et demi. Le dépôt des vases aurait été uniforme sans l'effet des chasses. Les courans

latéraux des deux aqueducs produisent un remou qui ne suit pas tout-à-fait la direction de l'axe de l'écluse, parce que les courans de la chasse sont plus ou moins entraînés par le courant de jussant, pendant lequel elle a lieu.

On diminue l'effet de ce remou, autant que possible, en commençant et finissant les chasses par les ventelles des portes, qui produisent un courant directement opposé au remou; mais néanmoins l'action de celui-ci est toujours prépondérante.

Cela a deux inconvéniens: le premier, de ne pas obtenir le plus grand approfondissement dans l'axe de la passe, et le second, de déchausser le pied des musoirs.

Celui-ci est si sensible qu'il a produit un affouillement de dix-huit pieds à mer basse au musoir de flot. Les pieux jointifs étaient entièrement déchaussés. Cet affouillement a été comblé en gros moellons qui ont fort bien résisté aux courans des chasses subséquentes; et ce moyen devra être employé pour l'affouillement du musoir de jussant, qui sera probablement aussi profond, après les chasses nécessaires pour entretenir la passe pendant l'hiver.

Avant-bassin.

Curage.

On a profité de l'état de basse-mer, maintenue dans l'avant-bassin, pour enlever, soit avec les machines à draguer, soit avec les bateaux d'évaseurs, la vase qui s'y était accumulée, ainsi que les immondices des vaisseaux.

L'envasement de l'avant-bassin pendant trois ans a été d'une hauteur réduite d'un pied et demi au-dessus de son ancien fond; on peut donc supposer que désormais l'attérissement de l'avant-bassin sera de six pouces par an, ce qui donne un volume de cent dix mille pieds cubes de vase, dont l'enlèvement fera l'objet d'un curage d'entretien qui pourra être donné à l'entreprise.

L'envasement de l'avant-bassin a principalement lieu dans l'axe de la première écluse, parce que l'eau de l'Escaut, en rentrant par les aqueducs, produit un affouillement au pied de l'avant-radier, remue les vases et les dépose, par un remou, dans l'axe de l'écluse.

On a dirigé le travail des machines à draguer et des bateaux d'évaseurs de manière à produire une passe pour les vaisseaux entrant dans l'avant-bassin ; ainsi qu'un chenal qui communique d'une écluse à l'autre.

On a aussi enlevé une grande partie du bâtardeau en avant de la seconde écluse.

Quais et Murs de quais de l'Avant-bassin.

On a achevé la pose des tablettes des murs de quai de l'avant-bassin, près de la seconde écluse ; on a également achevé le pavage des mêmes quais.

Seconde Écluse.

On a achevé l'élévation des bajoyers de la seconde écluse et on a posé les tablettes : il restait encore à poser celles qui devaient recevoir les portées des poutres du pont volant, et qui dépendaient du projet du pont proposé.

La manœuvre des portes busquées de cette écluse s'était faite jusqu'alors avec des cabestans volans et des vergues de sapin ; il restait à installer les crémaillères et les cabestans fixes qui portent les lanternes

Arrière-Bassin.

On a commencé la pose des tablettes des quais de l'arrière-bassin ; elle a été achevée sur toute la longueur du quai vis-à-vis la maison Anséatique.

Ces tablettes n'ont qu'un mètre de largeur et quarante centimètres d'épaisseur, tandis que celles de l'avant-bassin ont deux mètres sur soixante centimètres ; il en est résulté, sur le développement de l'arrière-bassin, une diminution de dépense de cent soixante mille francs.

Le quai de l'arrière-bassin, vis-à-vis la maison Anséatique, a été entièrement pavé.

Mur de clôture.

La communication de l'arrière-bassin avec la ville a été fermée par un mur de clôture qui commence vers l'alignement de la maison Anséatique, et qui finit au bout du bâtardeau de la forme en construction. Il a été établi une double palissade à claire-voie pour fermer entièrement le quai du côté de la ville.

Le mur de clôture ne pouvait être continué plus loin, tant à cause du mouvement du terrain, qui a reçu momentanément les déblais de la forme, qu'à cause de la gêne extrême que ce mur aurait apportée pour le transport et le dépôt des matériaux en approvisionnement pour la forme pendant la campagne de 1814.

La maison éclusière, qui n'avait que les murs de cage, a été achevée entièrement ; elle a été habitée à dater du 1er septembre.

Quais de l'Escaut.

On n'a point travaillé aux murs de quais à construire au bord de l'Escaut ; mais on a été obligé d'arrêter les dégats de ce fleuve dans la partie de la rive qui touche à la maison éclusière, et à la coquerie du même côté. La marée du 11 octobre, poussée par un vent violent, a produit un déchirement considérable dans cette partie, l'affouillement s'est arrêté à douze pieds de la coquerie. Pour prévenir les progrès de la lame de pleine mer, on a soutenu l'arrachement par un fascinage qui a dû assurer les fondations de la coquerie pendant quelque temps.

Forme.

Le pilotage de la forme a été achevé, à l'exception de douze pilots qui se trouvaient dans la partie de l'aqueduc qui est sous les bajoyers du fond de la forme.

La charpente du grillage des radiers et des second et troisième planchers a été achevée ; il restait à poser les moises de la troisième retraite et le quatrième plancher.

La maçonnerie a été élevée jusqu'au niveau de la première banquette

pour la forme proprement dite, et jusqu'à la hauteur de la naissance des bajoyers pour la chambre du bateau-porte. Il a été exécuté un peu moins des deux cinquièmes de la totalité de la maçonnerie en brique de la forme.

La maçonnerie en pierre de taille du radier du bateau-porte a été posée sur la moitié de la surface; celle de la cunette a été achevée dans toute la partie découverte.

Le bâtardeau en avant de la tête de la forme qui avait été écrêté a été rétabli dans son premier état.

Aqueduc entre la forme et la pompe à feu.

Les palplanches d'enceinte de l'aqueduc ont été battues; mais il a été impossible de commencer le battage des pilots, parce que la fouille entre les palplanches n'aurait pu être poussée à la profondeur requise qu'après le battage des palplanches.

Pompe à feu et Puisard provisoire.

Le puisard provisoire a été achevé ainsi que la pose du mécanisme de la pompe à feu; il restait à construire le puits qui doit donner l'eau de condensation; mais l'on pourra faire jouer la machine pendant la construction de ce puits.

NOTICE

SUR LA RESTAURATION DE LA GRANDE ÉCLUSE DU BASSIN DU PORT MILITAIRE DE FLESSINGUE.

L'île de Walcheren fut bloquée en 1809 par une flotte anglaise ; les vaisseaux français qui étaient en rade devant Flessingue remontèrent l'Escaut jusqu'à Anvers, en laissant en observation une avant-garde composée de deux vaisseaux de 74, au-dessus du fort l'Ilot. Les Anglais, après avoir opéré un débarquement dans le port de Terre-Vert, pénétrèrent dans l'île et firent le siége de Flessingue, où ils entrèrent le 15 août même année.

Les bassins de la marine militaire auxquels on travaillait à Anvers n'étant pas achevés, la flotte française fut obligée d'hiverner dans l'Escaut, où elle fut préservée de l'effet des glaces par les soins des officiers de la marine, à qui M. Malouet, alors préfet maritime, procura tous les moyens qui étaient à sa disposition dans l'arsenal de la marine.

On ne pouvait espérer de faire entrer les bâtimens dans les bassins pour y passer l'hiver suivant ; il fallut donc trouver un moyen de les abriter des glaces, qui, dans un hiver rigoureux, sont très-épaisses et très-élevées dans l'Escaut.

Les vaisseaux ne pouvaient, sans danger, stationner dans le fleuve. On chercha inutilement sur l'un et l'autre bord des criques où ils auraient pu entrer et être à l'abri des courans de flot et de jussant. Enfin on trouva à l'embouchure du Rupel dans l'Escaut, vis-à-vis la ville de Rupelmonde, deux hauts-fonds assez spacieux pour y faire hiverner les vaisseaux en les formant en deux divisions. Cet affluant étant lui-même sujet à des débâcles de glaces qui auraient pu endommager les bâtimens, le Ministre de la Marine ordonna de construire des estacades en bois afin de prévenir tout accident ; il en fut exécuté deux suivant le système indiqué par la planche n° 2. Elles ont résisté au chôc des glaces de l'hiver de 1811, qui fut assez rude dans le pays, et supporté une charge de ces glaces qui avait 3 à 4 mètres de hauteur. Les bois employés à leur construction étaient généralement de sapin.

Les Anglais évacuèrent l'île de Walcheren le 27 décembre 1809. Avant de se retirer de Flessingue, ils rasèrent les chantiers et l'arsenal de la marine; ils firent sauter la grande écluse du grand bassin militaire (1); ils firent également sauter le magasin général en pratiquant un fourneau de mine sous chaque encoignure de cet établissement exécuté par les Hollandais, et qui était un vrai modèle dans son genre. La plus grande partie du revêtement en charpente des quais du bassin militaire fut renversée dans ce bassin, après avoir sapé avec la hache, à-peu-près au niveau de basse-mer, tous les pieux du revêtement.

Des bâtimens d'embarcation, comme chaloupes, canots, etc., furent échoués à l'entrée du chenal et dans le grand bassin; l'un et l'autre étaient encombrés de matériaux de toute espèce, d'affûts, de canon, de boulets et de fusils de munition; la grande écluse avec ses portes de flot et ses doubles portes d'ébe, n'offrait plus qu'un amas de décombres.

Le 12 juin 1810, je reçus l'ordre de rétablir le port militaire de Flessingue, plus grand, plus approprié à la marine française qu'il n'était avant sa destruction.

Le magasin général a été reconstruit sur les anciennes fondations de ces murs de cage, mais sur un nouveau plan de distribution intérieure; il est divisé en deux grandes parties dans sa longueur dont chacune a 8 mètres 93 centim. de largeur, et est voûtée à l'épreuve de la bombe. La plate-forme au-dessus de ces voûtes était destinée à former un cavalier armé de huit pièces de canon de 24.

La largeur de la grande écluse, qui, en 1806 et 1807, avait été portée de 14 mètres 44 à 16 mètres 05, a été reconstruite sur 17 mètres 54 pour le passage des vaisseaux, sans augmenter la largeur de ses fonda-

---

(1) Les Anglais avaient pratiqué six puits de chaque côté de l'écluse, quatre dans l'épaisseur de chaque bajoyer et deux dans les terres et au pied de la maçonnerie des bajoyers. Les fourneaux de mines ont été fouillés jusqu'à 7 mètres 37 en contre-bas de la tablette de l'écluse, ce qui répond au niveau des buscs.

L'eau qui filtrait dans les puits a empêché les mineurs de placer plus bas le foyer des mines; ils ont été obligés d'employer des pompes pour terminer les fouilles.

Ces fourneaux ont été chargés de 107 à 110 livres de poudre; quelques-uns n'ont pas produit tout leur effet.



tions. Le moyen employé pour obtenir 17 mètres 54 de passe est simple ; on s'est servi de l'ancienne fondation des bajoyers qui étaient appuyés de contre-forts, et pour donner à celles des nouveaux bajoyers une épaisseur suffisante, on a construit des voûtes en briques d'un contrefort à l'autre.

Après l'enlèvement des décombres qui couvraient le radier et les avant-radiers construits en charpente et maçonnerie de briques, on s'est assuré de la situation de chacun, et l'on a reconnu qu'ils n'avaient point été endommagés par la commotion de l'explosion des mines dont il a déjà été parlé. Des sondes faites sur plusieurs points avec une tarière ont conduit à reconnaître encore que l'écluse était fondée sur pilotis, et enfin que le radier était composé de deux grillages superposés dont les cases étaient remplies de maçonnerie de brique, ainsi que celles du second grillage recouvert de deux planchers, dont le premier était en madriers de chêne et le deuxième en madriers de sapin.

Il est bon de dire ici qu'en retirant la tarière du trou de sonde qu'elle avait fait, l'eau jaillissait de 30 à 40 centimètres de hauteur, et qu'en peu de minutes, il se formait au pied du jet d'eau un cercle de dépôt de sable très-fin que l'eau entraînait avec elle. Cette observation ne présente rien d'extraordinaire ; elle prouve que la sonde était au-dessous de la nappe d'eau du pays ; d'ailleurs, les deux extrémités de l'enceinte où l'on reconstruisait l'écluse étaient fermées du côté du grand bassin par un bâtardeau en charpente, et du côté de la mer par un bâtardeau en terre et fascines. On jugera aisément que chaque trou de sonde était promptement et solidement bouché, car il se serait fait en peu de temps un affouillement sous le radier.

L'eau, sur les buscs de l'ancienne écluse, montait de 6 mètres 17 cent. dans les marées de nouvelle et pleine lune. Les vaisseaux de 74 ne pouvaient entrer dans le bassin qu'avec leur plan-d'eau, après avoir été désarmés en rade.

Les travaux exécutés en 1806 et 1807 pour élargir l'écluse, avaient été faits par marées, en enlevant le parement en pierre de taille, et partie du massif en briques des bajoyers qui avaient été échancrés de 81 centimètres chacun, sur 3 mètres 66 de hauteur au-dessus de la basse-mer, afin que l'élargissement se trouvât vis-à-vis la maîtresse côte des vaisseaux.

Les anciennes portes avaient été enlevées et reconstruites pour occuper la hauteur depuis le fond du radier de l'écluse jusqu'au-dessus du fond de chaque échancrure, afin de servir de heurtoir à des doubles portes neuves qui occupaient la nouvelle largeur de l'écluse au-dessus du niveau de basse-mer.

On jugera qu'il n'avait pas été possible d'augmenter la hauteur d'eau sur les buscs de l'écluse en 1806 et 1807 ; sa reconstruction offrait donc l'occasion favorable d'en chercher le moyen. On va faire connaître celui qu'on a imaginé et qui a été employé.

On a déjà dit que les sondes avaient fait connaître que le radier était composé de deux grillages superposés : c'est d'après la certitude qu'on en avait acquise qu'on s'est déterminé à enlever le grillage supérieur entre les chambres des portes de flot et des doubles portes d'èbe, dans l'emplacement de l'estrade de chacune de ces portes pour former leur busc; ensuite on a pratiqué dans l'épaisseur de la partie conservée de ce grillage, et suivant le grand axe de l'écluse, une cunette en forme d'arc renversé. On voit que le grillage supérieur n'a été enlevé que dans l'emplacement occupé par les chambres des portes et celui qui est occupé par la cunette. On sera peut-être surpris que les buscs ou heurtoirs des portes n'aient que 0 mètre 189 millim. au centre de cette cunette; mais si l'on considère, 1° qu'elle forme une portion d'arc renversé dont la flèche est 0 mètre 72 cent.; 2° qu'elle n'a que 5 mètres 35 cent. entre les bajoyers de l'écluse, et enfin que cette faible hauteur de busc n'existe qu'au centre de l'axe, et qu'elle croît à partir de ce point pour arriver à 72 centim., à 2 mètres 67 cent. de l'axe de l'écluse, on sera rassuré sur la solidité de la fermeture des portes : au reste, elles ont été mises dans ce moment à une épreuve de plus de neuf ans, et se conservent parfaitement étanches.

Nous savons que cette opération a été regardée par plusieurs ingénieurs comme trop hardie ; mais ils n'ont pas réfléchi que le radier de l'écluse a encore 1 mètre 62 cent. à 1 mètre 94 cent. dans sa plus grande épaisseur sous le centre de la cunette jusqu'à l'avant-radier du côté de la mer, où cette épaisseur est réduite à 0 mètre 86 cent. Nous conviendrons, par exemple, que cet avant-radier, qui se trouve réduit sous l'axe de la cunette à 0 mètre 86 cent. près de l'écluse, et à 0 mètre 57 cent.

à l'autre extrémité, pouvait donner un peu d'inquiétude pendant la construction de la cunette, parce que la nappe d'eau du pays tendait incessamment à le soulever comme étant placé à plusieurs mètres au-dessous du niveau de la surface de cette nappe d'eau ; mais si l'on réfléchit encore que ce n'est qu'au centre de la cunette formant arc renversé que cette faible épaisseur existe, qu'elle va en augmentant à partir de ce point, et qu'à 2 mètres 67 cent. de là, le radier se trouve dans son ancienne épaisseur, on trouvera qu'il n'y a pas eu tant de hardiesse qu'on se l'imaginera d'abord dans l'opération dont il s'agit.

Nous avons déjà dit qu'il n'y avait que 6 mètres 17 cent. de hauteur d'eau sur les anciens buscs de l'écluse, et que les vaisseaux de 74, pour entrer dans le bassin, étaient obligés de désarmer en rade : c'était une sujétion dangereuse pour tout bâtiment obligé de se retirer devant des forces supérieures, ou avarié par un coup de vent ou dans un combat, et qui est forcé de rentrer le plus promptement possible dans le port pour se radouber; c'était également un inconvénient très-grave dans le cas d'un armement secret; il fallait donc profiter du moment où l'on restaurait l'écluse pour augmenter la hauteur d'eau sur les buscs; il n'y avait que deux moyens : l'un d'enlever le radier pour le rétablir plus bas en recépant les pieux de fondation, et l'on eût retardé au moins d'une campagne l'entrée de l'escadre dans le bassin, après avoir fait une dépense très-considérable ; l'autre, qui était le plns simple, le plus expéditif, le moins dispendieux, celui qui a été employé et qui a eu le plus heureux succès.

Enfin par la suppression des anciens buscs et la construction d'une cunette, on a obtenu 7 mètres 47 cent. de hauteur d'eau sur les buscs de l'écluse restaurée, c'est-à-dire 1 mètre 30 cent. de plus que sur ceux de l'ancienne écluse.

Nous avons cédé volontiers au désir de mettre les remarques et observations qui précèdent sous les yeux des jeunes ingénieurs qui ont besoin de s'appuyer sur les exemples consacrés par l'expérience, dans les cas difficiles qui peuvent se rencontrer, lorsqu'ils sont chargés de grands travaux hydrauliques : nous allons parler maintenant de la restauration des revêtemens en charpente du grand bassin.

Le revêtement en charpente du bassin côté de l'est avait été dé-

truit sur 660 mètres de longueur. Les Anglais, comme on l'a déjà dit, avaient sapé les pieux un peu au-dessus du niveau de basse-mer; ils avaient coupé les ventrières, les chapeaux et les ancres en bois qui passaient sous les terres du quai : tout le système de charpente se trouvant ainsi divisé, il devint facile de renverser le revêtement dans le bassin, au moyen de palans placés sur le quai opposé.

Il était naturel de chercher à faire usage des anciens pieux de revêtement sapés au-dessus de basse-mer, et de profiter de la circonstance où l'on était obligé de creuser pour ainsi dire de nouveau le bassin afin de l'approfondir; mais sa destination première avait été de recevoir des frégates hollandaises, qui, comme tous les bâtimens de ce pays, ont une varangue très-plate, et s'échouent sans danger dans la vase. Cependant on devait craindre que les anciens pieux n'eussent pas beaucoup de fiche, et qu'en fouillant le bassin ils ne fussent déchaussés au point de ne pouvoir résister à la poussée des terres contre le revêtement du quai anquel ils devaient servir de fondation. On a employé le moyen qui se présentait naturellement pour éviter toute espèce de crainte à cet égard. Il en sera parlé ci-après.

On a été obligé de mettre le bassin à sec pour enlever les décombres qui le remplissaient; et pour éviter une trop grande masse d'épuisemens à la fois, on l'a divisé en deux parties au moyen d'un bâtardeau en charpente. Les épuisemens ont été faits par une pompe à feu et par des vis d'Archimède placées par étage, lorsque la machine ne suffisait pas, ou avait besoin d'être réparée.

La profondeur d'eau dans le bassin était primitivement d'environ 6 mètres 50; elle a été portée par la nouvelle fouille à 9 mètres; et pour éviter de déchansser les pieux de revêtement du quai, on a laissé en talus une risberme de 5 mètres 84 de base à partir du niveau de basse-mer. Ce talus, combiné avec la façon des vaisseaux français, beaucoup plus fins que ceux des Hollandais, n'a point empêché qu'ils ne fussent mouillés bord à quai (1).

---

(1) La risberme mentionnée ci-dessus se trouvant formée par le fond même du bassin composé de sable très-fin, il a fallu la revêtir de gazon de scorres; et pour empêcher le glissement de ce gazon, on a fait au pied du talus une petite tranchée

La restauration dont il s'agit devait être faite suivant le projet représenté par la planche n° 3, fig. 1re; mais en fouillant les terres au pied des anciens pieux sapés, et en cherchant à découvrir le système de l'ancienne charpente, on a reconnu qu'il existait une file de pieux battus dans le terre-plain parallèlement à ceux du revêtement, que ces pieux, ainsi qu'une des ancres ou demi-moises inclinées pouvaient être conservés. On a remplacé le premier projet par celui que représente la planche n° 4, et il en est résulté une économie considérable.

Le côté ouest de l'avant-port entre la chaîne qui en ferme l'entrée pendant la nuit et la grande écluse du bassin, était resté jusqu'alors sans revêtement; on y a exécuté celui que représente la planche n° 3, fig. 2°, sur une longueur de 200 mètres.

SYSTÈME

DE CHARPENTE EMPLOYÉ A L'ARSENAL MARITIME D'ANVERS.

(Planche n° 5.)

Ce système présente plusieurs avantages :

1°. Il se prête aux grandes comme aux petites dimensions; il a été exécuté à Anvers pour la toiture de la salle des gabaris et celle de l'atelier de la menuiserie, dont les bâtimens ont 120 mètres de longueur sur 20 mètres de largeur; on lui donne la forme du plein cintre ou d'une portion d'arc, suivant la hauteur que doivent avoir les toits.

2°. Il convertit en espace libre des greniers obstrués au moins en partie par les fermes ordinaires.

3°. Il est d'une grande légèreté, et tout-à-fait exempt de poussée sur les murs latéraux.

4°. Il présente une grande économie en substituant à du bois équarri, des bouts de madriers de $0^m,054$ à $0^m,081$ millim. (2 ou 3 pouces) d'épaisseur et d'une longueur quelconque.

---

dans laquelle on a couché des bottes de genêt. Les Hollandais emploient quelquefois des bottes de paille : ce moyen suffit pour empêcher l'éboulement des terres et contre-butter le gazon. On donne à la tranchée 45 à 50 centimètres de profondeur.

5°. Il est d'une construction si simple que l'ouvrier en bois le plus ordinaire l'exécute facilement.

6°. Il se monte sans danger avec le secours de la chèvre.

L'idée principale consiste à remplacer la ferme ordinaire par un arc composé de bouts de madriers jointifs d'une épaisseur proportionnée à l'ouverture de l'arc. Les fermes de la salle des gabaris et de l'atelier de menuiserie de l'arsenal maritime d'Anvers sont composées de trois madriers de 0, 081 millimètres (3 pouces) d'épaisseur chacun (1).

Les joints des deux cours de courbes extérieures se trouvent toujours vis-à-vis le plein du cours de la courbe intérieure, et les madriers posés ainsi de champ sont solidement chevillés en bois dans le sens de leur épaisseur et boulonnés aux endroits seulement où s'appliquent les moises.

Les deux naissances de l'arc entrent dans les murs latéraux, où elles sont comme scellées, de manière que l'intrados y aboutit, ce qui ménage de l'espace et consolide en outre les extrémités. Elles s'assemblent à tenons et mortaises dans un entrait qui sert de poutre au plancher; le madrier du milieu prolongé forme le tenon.

L'entrait ou poutre porte sur des sablières si le bâtiment est percé de croisées sur ses deux faces; ces sablières sont fixées dans la longueur des murs latéraux par des ancres en fer vis-à-vis chacune des fermes.

On pourrait poser l'arbalêtrier immédiatement sur l'arc dont nous venons de parler; mais, pour mieux lier le système et diminuer la hauteur du toit sans perdre d'espace intérieur, on encastre l'arbalêtrier dans le milieu de l'arc en bois en le délardant des deux côtés suivant la courbure, de sorte qu'en cet endroit c'est le milieu de l'arbalêtrier, réduit à l'épaisseur d'un madrier et taillé convenablement, qui remplace celui du milieu.

A chaque sortie de l'arbalêtrier, on place un étrier boulonné, en tout quatre, deux de chaque côté (2).

(1) Il est inutile de faire observer que plus les morceaux de madriers sont longs, plus l'arç est solide; on peut cependant, en cas de besoin, employer des morceaux aussi courts qu'on voudra, en ayant soin de les placer plein sur joint, règle générale.

(2) Si l'arc est petit on ne met qu'un seul étrier dans le milieu de l'arbalêtrier, et la

Les étriers dont on peut réunir les deux branches au-dessus de la courbe par un second boulon serrent autant que possible les deux pièces de cette courbe avec l'arbalêtier, et en font comme un seul morceau dans la partie où celui-ci la pénètre.

Des moises composées de deux madriers entaillés à mentonnet sur la courbe, soutiennent l'arbalêtrier et le lient avec elle. Leur nombre est proportionné à la grandeur de l'arc.

La moise du milieu, composée aussi de deux madriers, soutient le faîtage et sert de poinçon.

Les pannes se posent sur l'arbalêtrier de manière à en arraser le dessus, ce qui se fait en entaillant la panne de moitié de son épaisseur, et l'arbalêtrier de la même quantité.

Les chevrons, lattis et coyaux se construisent à l'ordinaire.

On remarquera que le système est tellement lié par les entraits qui annulent la poussée, par les sablières extérieures qui maintiennent les arcs par le bas comme le faîtage par le haut et les pannes dans l'intervalle, qu'on pourrait le construire sur des soutiens isolés et le transporter pour ainsi dire d'un lieu dans un autre.

La facilité de la construction dérive de la légèreté. La ferme composée de la courbe et des deux arbalêtriers assemblés sur le tas, se lève avec deux chèvres, et est maintenue verticalement par deux arcs-boutans en planches, jusqu'à ce que la ferme voisine soit levée et liée avec la première.

Enfin le moindre avantage du système, qui ne doit cependant point être omis, c'est que, de l'apparence de la construction résulte un coup-d'œil agréable lorsqu'on fait peindre les bois en couleur de l'espèce dont on veut lui donner la teinte, et les fers en noir ou en bleu foncé.

La planche n° 6 représente une ancienne charpente dont les bois étaient bien conservés et pouvaient être employés; on a seulement substitué aux entraits, liens, etc., la courbe du nouveau système pour faire d'un grenier une salle de malades.

---

portion d'arc qui le supporte ne se trouve alors divisée qu'en quatre parties par l'étrier et les moises, au lieu de cinq, comme il arrive avec deux étriers.

Les salles les plus spacieuses de l'hôpital général de la marine à Anvers, placées sous des toits lambrissés, étaient disposées de cette manière, et ont été généralement approuvées par les officiers de santé.

Charpente du bâtiment de la Buanderie et des Séchoirs d'hiver de l'Hôpital de la Marine, à Saint-Bernard.

On avait établi deux hôpitaux pour le service de la marine à Anvers : l'un, pouvant contenir jusqu'à 700 malades, avait été installé dans un ancien couvent des minimes, situé dans la ville, et qu'on avait disposé convenablement pour en faire un hôpital ; et l'autre, pouvant contenir 2000 malades, avait été installé dans une ancienne abbaye de bernardins, située près du village de Scbill, sur le bord de l'Escaut, à deux lieues et demie d'Anvers. Ce dernier était placé dans un enclos considérable entouré de murs, et se trouvait dans la position la plus agréable et la plus convenable pour un pareil établissement.

L'abbaye avait été presque entièrement démolie par les premiers acquéreurs, et ne présentait que des ruines ; on a fait entrer dans le projet d'hôpital toutes les parties des anciens bâtimens qui se sont trouvées en état et susceptibles de resservir. La distance où se trouvait cet établissement de la ville d'Anvers avait obligé de comprendre dans le projet tout ce qui était nécessaire, 1°. pour le logement des malades formant trois classes; celle des officiers militaires et civils, celle des sous-officiers et celle des matelots. 2°. Pour le traitement des différentes espèces de maladies, en disposant les salles convenablement pour empêcher, autant que possible, entre elles, une communication dangereuse pour les malades.

3°. Pour l'établissement d'une grande pharmacie, comprenant un magasin général, le laboratoire des pharmaciens, une tisanerie et une pharmacie courante.

4°. Pour les cours de chirurgie et de médecine.

5°. Pour une grande lingerie, magasin du mobilier de l'hôpital, dépôt des effets des malades en entrant.

6°. Pour l'approvisionnement et la manutention des vivres, leur distribution, etc.

7°. Pour le logement des administrateurs, des officiers de santé, des

sœurs chargées du soin des malades, de l'aumônier de l'hôpital, etc.

8°. Pour le casernement de la troupe employée à la garde et à la police de l'établissement, pour celui des pompiers, celui des forçats choisis pour être employés comme servans dans les salles des malades.

9°. Pour des ateliers de réparations de meubles, matelats et autres effets de mobilier.

10°. Pour le blanchissage du linge et le faire sécher. La planche n°. 7 représente une coupe de la buanderie.

Au rez-de-chaussée sont placés les cuves pour lessiver le linge, un bassin pour le laver, et une grande salle entourée de tables pour l'étirer quand il est sec, le repasser, le réparer, etc., avant de le porter dans la lingerie. Les pièces supérieures sont des séchoirs pour l'hiver.

On remarquera que cet établissement est exécuté en charpente; les murs, d'une brique et demie d'épaisseur, ne servent que d'enveloppe pour préserver les bois de l'action de l'air extérieur ordinairement chargé d'humidité dans le pays : on pense bien qu'il était isolé des autres bâtimens.

On peut dire ici que l'hôpital Saint-Bernard était cité par les officiers de santé de la marine et les sœurs chargées du soin des malades, comme celui qui remplissait le plus exactement, dans le nombre de ceux qu'ils connaissaient, le programme qu'on doit se proposer en formant ce genre d'établissement.

Charpente du grand Atelier des Forges.

Voyez planches n° 8 et n° 8 *bis*. — La planche suivante représente l'élévation latérale.

Le grand atelier des forges de l'arsenal maritime d'Anvers, situé dans le premier chantier de construction des vaisseaux (il y en avait un autre dans le second chantier), avait 194 mètres de longueur sur 20 mètres de largeur hors-œuvres. Le plan était divisé en trois parties, savoir : une grande nef dans le milieu, de 11 mètres 50 de largeur dans œuvres, aux deux côtés de laquelle étaient placées les forges doubles au nombre de vingt-quatre, plus quatre forges simples; et deux bas-côtés, où étaient placés les établis des limeurs.

Les grands entraits de la charpente de la nef étaient alternativement d'une et deux pièces; ces derniers étaient assemblés à clef. Ils sont rattachés au premier entrait par un tirant en fer, et aux arbalêtriers par des moises pendantes. Malgré leur grande portée, ils se sont maintenus sans flexion sensible. On jugera qu'il ne faudrait pas employer un pareil système de charpente pour porter un plancher destiné à être chargé de matière pesante.

Atelier de la Tonnellerie projeté.

Voyez planche n° 9 qui représente la coupe en travers, et celle n° 9 *bis* qui représente l'élévation latérale.

L'atelier de la tonnellerie a 25 mètres 50 de longueur, et 9 mètres 40 de largeur hors-œuvres. Cet atelier est entouré d'une galerie à jour formée par des piliers carrés en briques couronnés par des chapiteaux d'ordre *pæstum* en pierre de taille. La galerie est destinée à mettre à couvert les ouvriers qui travaillent à l'air. Dans le milieu du plan est situé le hangar aux merrins; en avant un vaste atelier précédé d'un vestibule de chaque côté duquel sont les bureaux d'officiers du génie maritime, et de maîtres chargés du détail de la tonnellerie.

La partie supérieure sert de magasin des pièces à eau, fabriquée au rez-de-chaussée.

Porte de l'entrée principale de l'Arsenal de la Marine militaire à Anvers.

Voyez planche n° 10.

L'entrée des arsenaux est, en général, interdite au public, et ceux de la marine, plus que les autres, ont besoin de la plus grande surveillance dans l'intérieur des chantiers et des ateliers, où l'on emploie une très-grande quantité de cuivre, de fer, de plomb, etc., et où, malgré toute la surveillance qu'on y exerce et l'extrême sévérité des lois et réglemens, il se commet chaque jour des vols, ou par les ouvriers, ou par les étrangers qui trouvent moyen de s'introduire parmi ces ouvriers aux heures des travaux.

La porte principale de l'arsenal est celle par laquelle entrent et sortent les ouvriers de toutes professions, rangés sur deux lignes et dans l'ordre des directions auxquelles ils appartiennent. C'est à cette porte que le poste de l'officier qui commande la garde militaire de l'arsenal et des chantiers est placé. Lorsque la cloche du port annonce l'entrée ou la sortie des ouvriers, toutes les autres portes sont fermées; le poste prend les armes, le portier et les gardiens de service examinent les ouvriers sortans et veillent à ce qu'ils n'emportent aucune matière; ils arrêtent ceux qu'ils soupçonnent ou qui paraissent en avoir de cachée sur eux.

La porte principale d'un arsenal maritime doit être construite sur des dimensions proportionnées au nombre d'ouvriers de toute espèce qui y sont employés, et à celui des individus qui y sont attachés pour les différens services, ou qui les fréquentent habituellement; elle doit former porche pour mettre à l'abri les préposés qui exercent une surveillance continuelle pendant les heures du travail. Les loges des portiers et des gardiens doivent être situées d'un côté de cette porte et le corps-de-garde principal doit être placé de l'autre : c'est d'après ce programme que nous avons rédigé le projet représenté par la planche n°. 10.

Les ingénieurs du corps royal des ponts-et-chaussées étant chargés de diriger les travaux maritimes des ports militaires comme ceux des ports de commerce, nous avons pensé que le projet dont il s'agit, et qui devait être exécuté en 1814, servirait particulièrement à l'intelligence de ce qui précède.

Nous nous arrêtons aux détails et observations où nous venons d'entrer sur les arsenaux et ports militaires d'Anvers et de Flessingue; nous croyons qu'ils suffiront pour donner une idée des nombreux et importans travaux qui ont été projetés et exécutés pendant les huit ans que nous avons été chargés de la direction de ces deux ports. Nous terminerons en traçant la marche que nous croyons indispensable qu'un ingénieur suive lorsqu'il est appelé à diriger de grands travaux d'art.

La première chose à faire par un ingénieur chargé de projeter un ouvrage d'art, est de bien connaître la localité et la nature du terrain sur lequel l'ouvrage doit être fondé. Des sondes rapprochées, faites avec soin par les moyens connus, ou des pieux d'expérience battus au refus, abandonnés et repris à certaine distance avec un mouton d'un poids

plus fort, conduisent à la connaissance nécessaire pour fixer l'ingénieur et le mettre à même de proposer le système de fondation qu'il croit préférable.

Il doit s'assurer de l'exactitude des plans et nivellemens, ou bien il court risque d'être induit en erreur, et s'expose à faire un projet qui, quoique bien conçu, renferme des vices qui ne manquent pas de se montrer dans l'exécution, et qu'il est quelquefois impossible ou au moins très-difficile de corriger, et enfin qui donnent lieu à des augmentations de dépenses sans atteindre le but qu'une sage prévoyance n'aurait pas manqué.

L'ingénieur doit calculer l'action des parties agissantes dans l'ouvrage qu'il projette, et celle des parties résistantes, pour arriver à l'équilibre; en conséquence il doit connaître la qualité des pierres de taille qu'il emploiera et les mettre en expérience, si elles sont destinées à résister à la pression de grands fardeaux; il doit s'assurer de la qualité des matières qui composent les mortiers.

Il visitera les carrières et sablières; il connaîtra leurs produits, les chemins qui y conduisent, leur situation, la facilité ou les difficultés qu'elles présentent pour les transports; enfin il s'assurera des moyens de faire tous les approvisionnemens nécessaires, et ne s'en rapportera, pour aucun de ces objets, à l'entrepreneur, quelque confiance qu'il mérite d'ailleurs.

L'ingénieur mettra le plus grand soin dans l'examen des matériaux; il en fera la réception lui-même.

Il fera veiller strictement à la fabrication des mortiers, et vérifiera lui-même le plus souvent possible si les conditions du devis sont remplies à cet égard.

Il tracera lui-même sur le terrain le plan des fondations, ou s'il en confie le tracé à un subordonné, il ne doit pas manquer de le vérifier.

Il choisira des employés zélés, intelligens et probes; il surveillera et fera surveiller ceux de l'entrepreneur, et ne permettra que celui-ci n'ait à son service que ceux qui présenteront les mêmes garanties; enfin il doit prendre les moyens d'exercer sa surveillance sur les travaux comme sur les individus employés généralement sous ses ordres.

L'ingénienr aura le plus grand soin de dessiner ou de faire dessiner des plans de fondations en grand, et des détails de chaque partie de l'ou-

vrage; il fera planter sur le terrain autant de petits piquets qu'il y aura de pilots tracés sur le plan de détail en grand, et chacun de ces derniers portera un numéro correspondant à chaque piquet planté à la place où le pilot devra être battu.

L'ingénieur fera surveiller le battage des pilots par des employés dont il sera sûr, et qui ne permettront de le cesser que lorsque chaque pilot arrivé au refus fixé ne prendra plus de fiche après plusieurs volées de suite. Les pilots, surtout ceux qui sont destinés à porter de grands poids, doivent recevoir un second battage avec un mouton plus pesant que le premier dont on s'est servi; ce second battage se fait ordinairement avec la sonnette à tirandes ou avec la sonnette à declit. Il faut user modérément de cette dernière, dont le mouton produit une plus forte percussion, et qui, lorsqu'elle tend à vaincre violemment la résistance du terrain et le frottement qu'il exerce sur la surface du pilot, le fait éclater subitement ou en écrase la tête malgré l'emploi des frettes.

Les employés tiendront un journal exact du battage, qui servira à rédiger une table générale contenant le numéro de chaque pilot, sa longueur, son diamètre moyen, le poids du mouton, le nombre de volées battues, sa fiche au refus de...

L'ingénieur fera lui-même le tracé des fondations en maçonnerie sur les plates-formes ou simples grillages en charpente. Si l'on emploie de la pierre de taille, il fera lever exactement le plan de chaque assise en cotant la hauteur et les dimensions des carreaux et boutisses qui forment le parement, afin que le cube en soit calculé et distrait du cube total comprenant une autre espèce de maçonnerie, comme moellon, brique, etc.

L'ingénieur veillera avec le plus grand soin à ce que les joints de lit soient fichés convenablement et pleins, si les dimensions et le poids de chaque morceau de pierre s'opposent à ce qu'il soit posé sur un lit de mortier fait à l'avance. Il veillera également à ce que les parties démaigries vers la queue soient bien calées avec des moellons plats et choisis, et qu'il ne reste aucun vide sans mortier entre la pierre de taille et les garnis en moellon. Tous les joints montans seront coulés en mortier assez liquide pour s'introduire dans toute la longueur et la hauteur du joint, au moyen de petits augets qu'on tiendra pleins après avoir

passé à plusieurs reprises une scie dentelée dans toute la hauteur et la longueur du joint. Aucun morceau de pierre de taille ne sera mis en œuvre qu'il n'ait été préalablement visité avec soin.

L'ingénieur tiendra avec une exactitude et un soin scrupuleux un journal qui relatera le nombre d'ouvriers de toute profession employés aux travaux, les obstacles et les difficultés éprouvés, leur cause, leurs effets, les moyens employés pour y parer ou pour les vaincre. Ce journal servira à rédiger à la fin de chaque mois un précis historique qui fera connaître les progrès et la situation des travaux, les événemens marquans arrivés dans le cours du mois, leur influence sur l'avancement de chaque partie d'ouvrage; il contiendra, s'il y a lieu, les propositions de l'ingénieur chargé du service, soit pour faire des modifications au système de fondations adopté, pour raison d'obstacles ou de difficultés imprévus, soit pour obtenir des crédits plus forts, soit enfin pour demander un supplément de fonds motivé par des avaries, etc.

A ce précis historique seront joints des plans et coupes qui feront connaître la situation des travaux à la fin du mois. Les ouvrages faits seront distingués par une teinte plus forte ou différente de celle des ouvrages restant à faire.

La partie du service des ingénieurs sur laquelle on ne peut trop appeler leur attention, est la comptabilité de la dépense; elle doit être continuellement à jour, de telle sorte qu'ils soient toujours prêts à répondre à toutes les demandes qui peuvent leur être faites à cet égard.

Si le journal dont il a été parlé plus haut est bien tenu, il leur fournira tous les élémens dont ils auront besoin pour tenir leurs comptes en règle.

Les ingénieurs ne doivent jamais s'écarter du devis des travaux; il n'est pas moins essentiel d'établir la dépense d'après les prix du détail estimatif, sauf à diminuer sur le montant des ouvrages exécutés le rabais proportionnel fait par l'entrepreneur adjudicataire.

Les ingénieurs ne doivent jamais se permettre de faire un changement ou une modification au projet et au devis et détail estimatif approuvés par M. le Directeur-général, sans y avoir été autorisés. Les conditions des devis et les conditions générales imprimées par ordre de M. le Directeur-général doivent être sans cesse le guide de leur conduite pour

la construction des travaux et le réglement des dépenses de l'entrepreneur.

Ils doivent tenir attachement exact des dépenses imprévues, et n'en faire aucune, sauf les cas d'urgence, sans y avoir été autorisés.

S'il y a péril pour la totalité ou partie des ouvrages par une avarie imminente; s'il s'agit d'arrêter les progrès de celle qui n'aura pu être prévue, l'ingénieur serait répréhensible de n'avoir pas pris sur-le-champ les mesures qui auraient dépendu de lui, en pareille circonstance, pour éviter des dommages ou pour en arrêter de plus grands; mais dans ce cas, qui est véritablement celui d'urgence, il doit constater par un rapport détaillé les motifs qui l'ont forcé d'agir. Les dépenses nécessitées par de pareils événemens doivent faire l'objet d'un état à part, accompagné du rapport explicatif mentionné ci-dessus, pour être approuvé par M. le Directeur-général. Ces dépenses doivent être payées sur la somme à valoir ajoutée au montant du détail estimatif, et qu'il ne faut jamais négliger de porter pour tous les grands travaux, particulièrement ceux qui sont exécutés à la mer ou dans le lit des rivières.

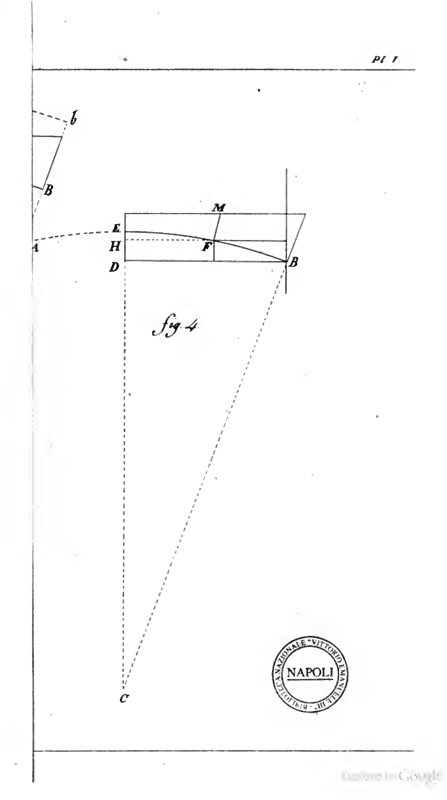
Les ingénieurs doivent éviter, autant qu'il est possible, de faire travailler par régie; ce mode donne lieu à une source d'abus presqu'inévitables, et dont la responsabilité retombe sur eux seuls, quoiqu'ils soient obligés d'employer des agens secondaires pour constater la nature et la quantité des dépenses.

Un ingénieur ne pouvant surveiller à la fois le régisseur, ses employés et ceux de l'administration, il faut bien qu'il s'en rapporte à ces derniers, qui sont toujours exposés à la séduction, et qui y résistent d'autant moins que ce sont ordinairement des agens employés temporairement, parce qu'il en faut un grand nombre et qu'ils sont peu payés.

En livrant au public ce recueil d'observations et d'expériences, je n'ai point eu la prétention de m'ériger en maître et de donner des leçons aux ingénieurs expérimentés; j'ai rapporté fidèlement ce que la pratique et l'expérience m'ont fourni de remarquable et de constant pendant le temps employé à la construction des travaux dont j'ai parlé. Il m'eût été facile de faire un gros volume si j'eusse voulu citer un grand nombre d'observations que j'ai été à même de faire pendant vingt ans de ma vie que j'ai employés à diriger de grands ouvrages d'art; mais ces observations

n'apprendraient rien de bien important aux jeunes ingénieurs qui débutent dans la carrière : j'ai donc cru devoir me borner à leur citer des exemples qui suffiront sans doute pour les engager à se prémunir contre les difficultés et les événemens qu'ils rencontreront dans le cours de l'exécution des travaux qu'ils auront à diriger. L'instruction soignée et complète qu'ils ont été à même de recevoir dans des écoles où la théorie est perfectionnée de jour en jour, leur aptitude, leur zèle et leur dévouement, le désir de mériter l'estime et la confiance d'un gouvernement tout paternel, le bonheur d'être utiles à leur pays, en feront bientôt des ingénieurs distingués et recommandables, surtout s'ils repoussent l'esprit de système, les prétentions exagérées; enfin s'ils se persuadent bien qu'il ne suffit pas de faire de grands et beaux ouvrages, mais qu'il faut essentiellement, pour sa réputation et sa tranquillité personnelle, qu'ils soient construits avec une sage économie, et qu'ils remplissent l'objet que s'est proposé le Gouvernement lorsqu'il en a ordonné l'exécution.

FIN.


Pl. I
b
B
M
E
H
F
A
D
B
fig. 4
C

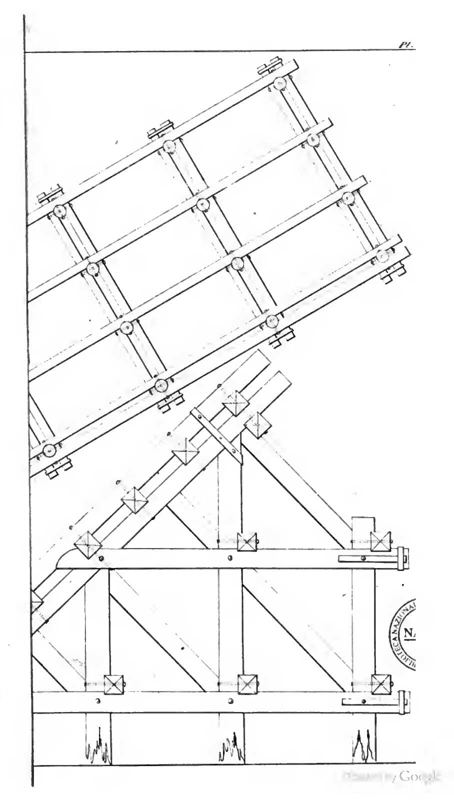
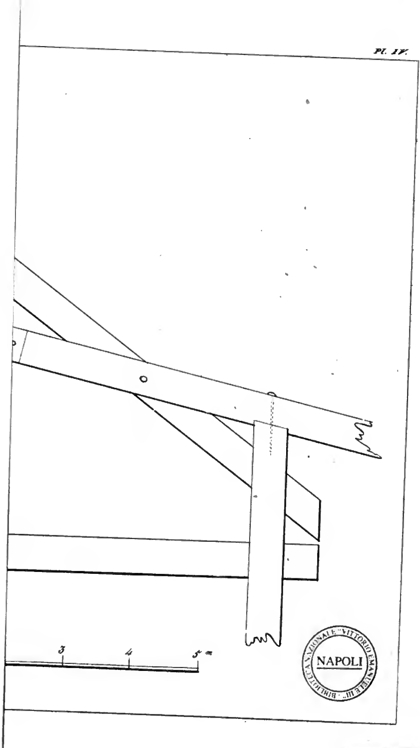

Pl.

fig. 1.e

0 1 2 3 4 5 m

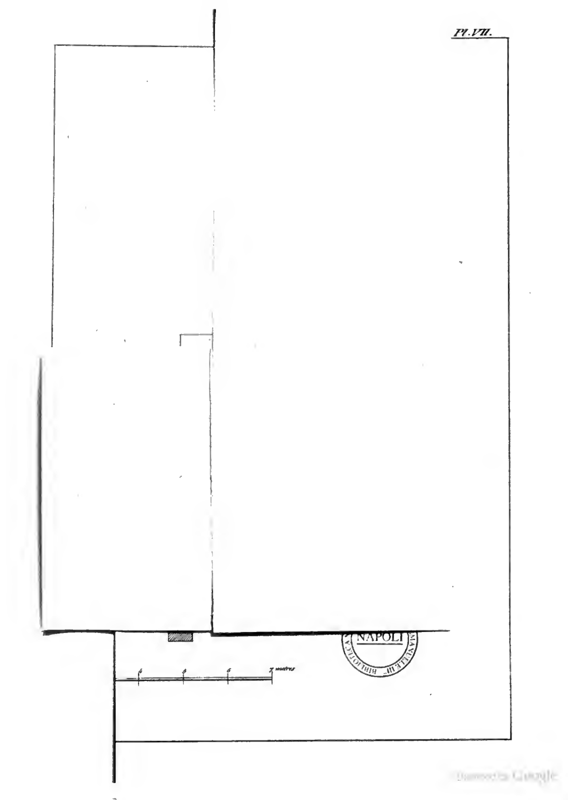


3
4
5 m

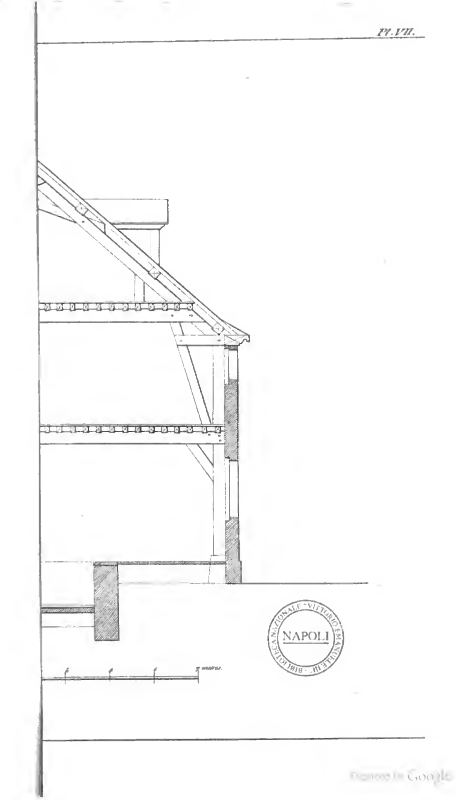
3
4
5
6
7
8
9
10 m t

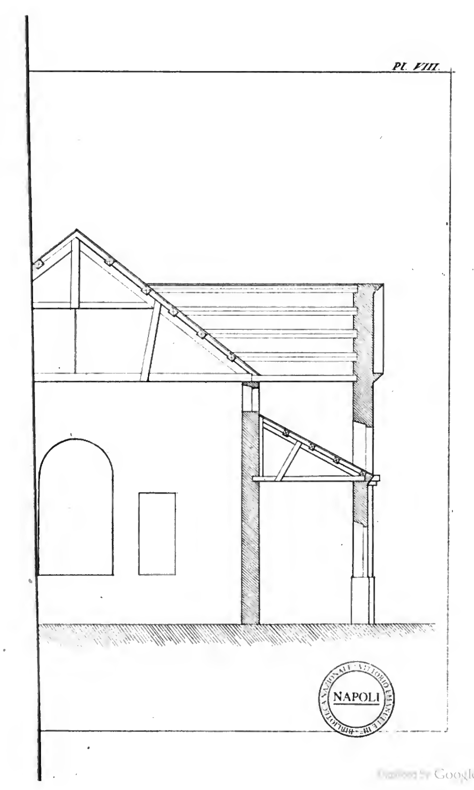


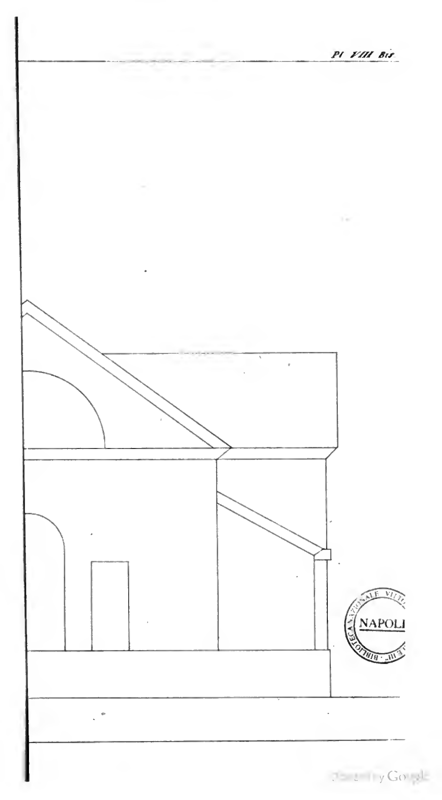
Pl. VII.

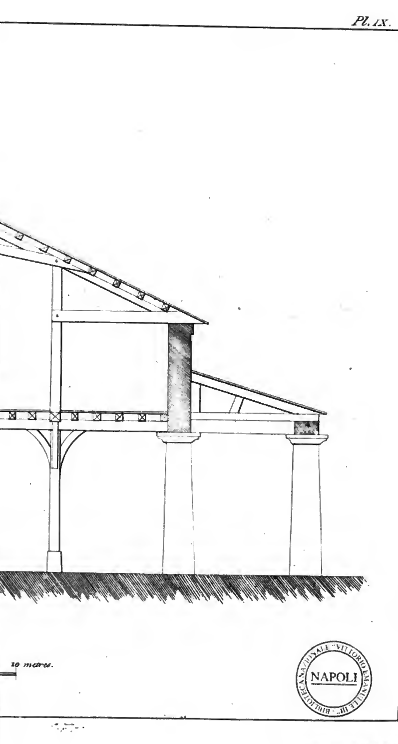


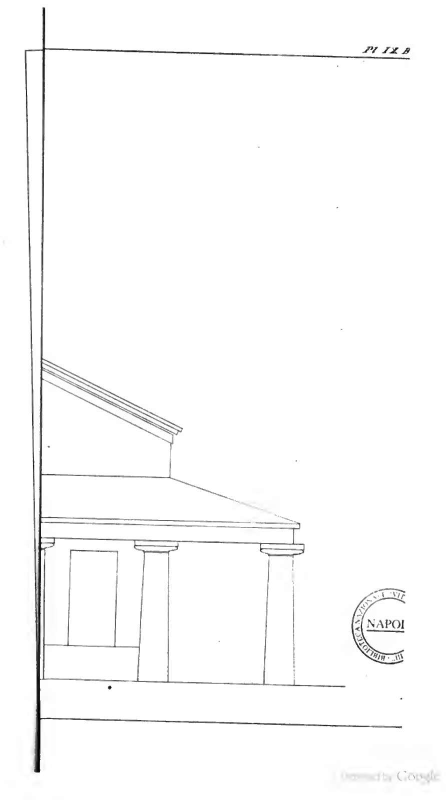


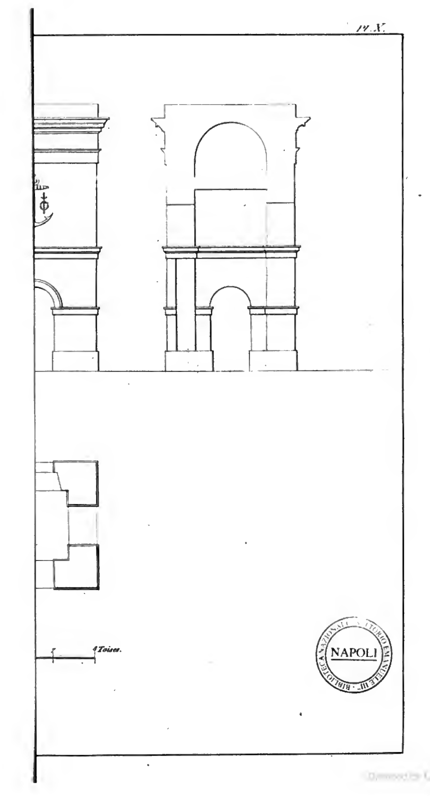


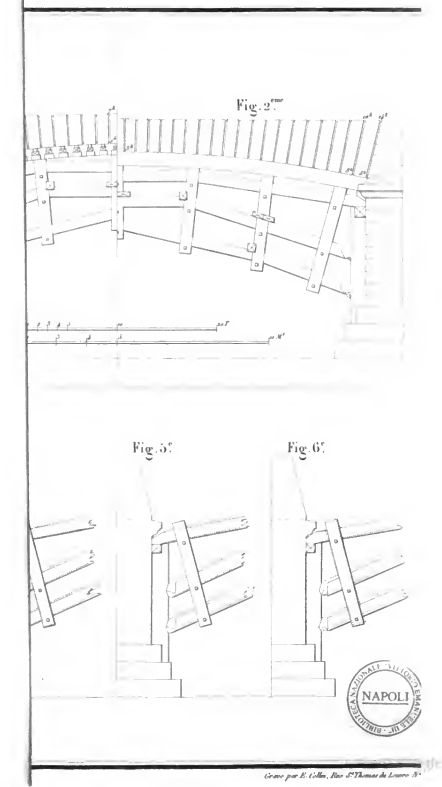




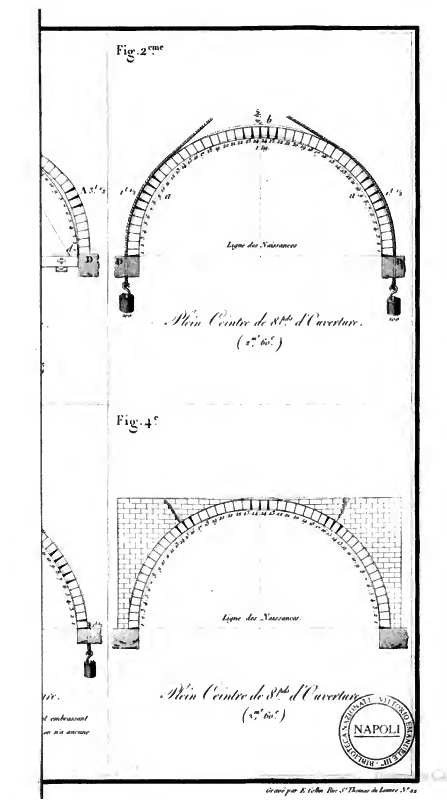

10 metres.



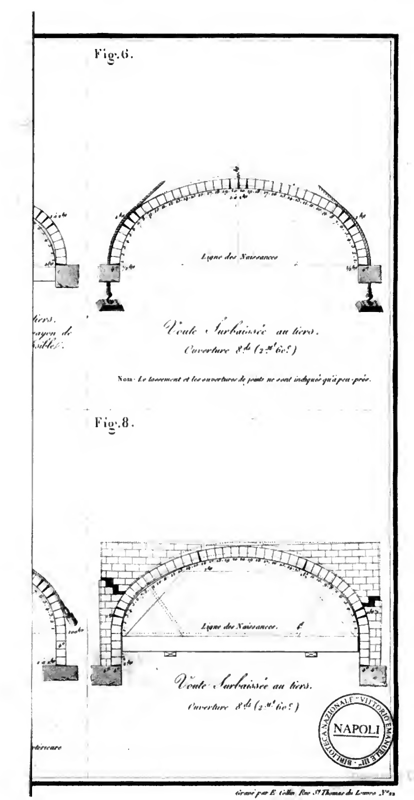

4 Toises.
NAPOLI
BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III

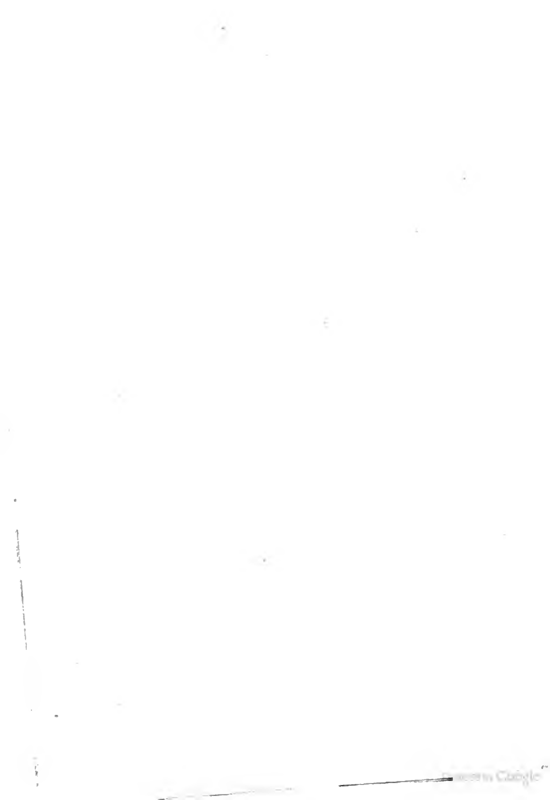


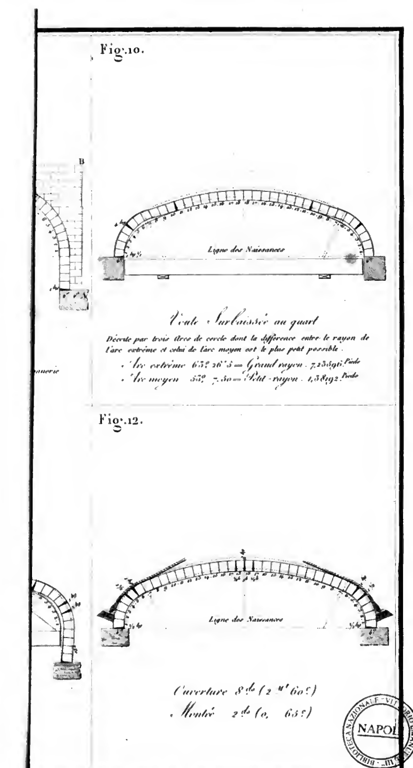
Gravé par E. Collin, Rue St Thomas du Louvre N°



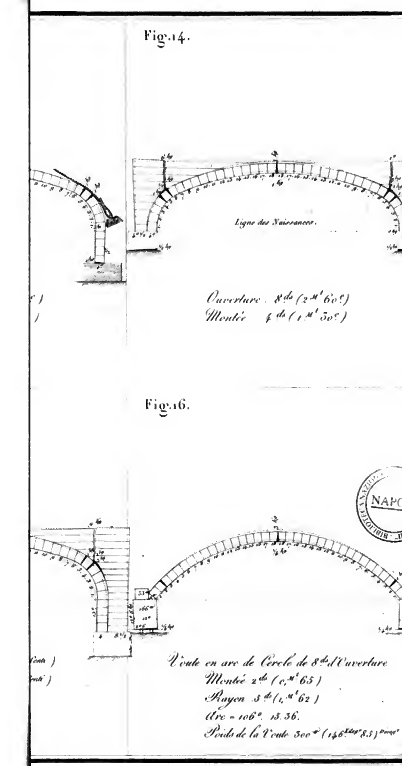
Gravé par E. Collin Rue S.t Thomas du Louvre N.o 22

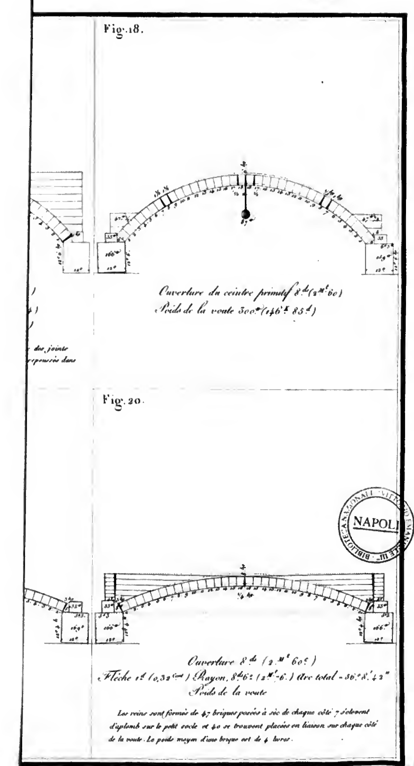

Fig. 6.
Ligne des Naissances
Voute Surbaissée au tiers.
Ouverture 8.ds (2.m 60.c)
Nota: Le tassement et les ouvertures de joints ne sont indiqués qu'à peu-près.
Fig. 8.
Ligne des Naissances.
Voute Surbaissée au tiers.
Ouverture 8.ds (2.m 60.c)
Gravé par E. Collin Rue St Thomas du Louvre N.o 22





Gravé par E. Colla, Rue St Thomas du Louvre N° 22


Fig. 14.
Ligne des Naissances.
Ouverture . 8 ds (2 M. 60 c.)
Montée 4 ds (1 M. 30 c.)
Fig. 16.
Voute en arc de Cercle de 8 ds d'Ouverture
Montée 2 ds (0 M. 65)
Rayon 5 ds (1 M. 62)
Arc = 106°. 15. 36.
Poids de la Voute 300 (146 Kilog. 8.5)
Gravé par E. Collin. Rue St. Thomas du Louvre



Gravé par E. Collin Rue S.t Thomas du Louvre N.o 22.

Fig. 22.

(100 K 11 déca)
209# (102 K 30 d)
. 3# (99 K 17 d)
bloc répond a 5°

celles du Pont de
(1 M 10 c) de flèche

Ouverture de la plate bande 8 pds (2 M 60 c)

Poids des Claveaux 220# (107 K 69 d)

Poids de la Culée à gauche 209# (102 K 30 déca)

Poids de la Culée à droite 203# (99 K 17 déca)

Poids sur le milieu de chaque Culée 732# (358 K 30 déca)

H K L M N O P Q R I B D K'

Fig. d

F D N B A P M

Fig. b

Gravé par E. Collin, Rue St Thomas du Louvre N° 3

